

الميكروبيولوجيا العامة

دكتور

حسين عبد الله محمد الفضالي
أستاذ ورئيس قسم الميكروبيولوجي
كلية الزراعة بدمياط – جامعة المنصورة

الطبعة الأولى

٢٠٠٧

الميكروبيولوجيا العامة

دكتور

حسين عبد الله محمد الفضالي

أستاذ ورئيس قسم الميكروبيولوجي
كلية الزراعة بدمياط - جامعة المنصورة

الطبعة الأولى

٢٠٠٧

مكتبة نانسي دمياط

هاتف: ٢٤٠٨٥٥٣ - ٢٤٠٨٥٥٤ - ٢٢٣٣٦٩

فاكس: ٠٥٧/٤٠٣٧٥٥

محمول: ٠١٠١١٠٨٧١٩ - ٠١٠٦ - ٠١٢٧٥١ - ٠١٠٤٢٠٢٤٥٠

بطاقة فهرسة

فهرسة أثناء النشر إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

الفضالي، حسين عبد الله محمد.

الميكروبيولوجيا العامة/تأليف حسين عبد الله

محمد الفضالي. ط١ - دمياط:

مكتبة نانسي، ٢٠٠٧.

٢٠٠ ص ٢٤: سم

تدماك: ٩٧٧٦١٨٦٥١٣

١- تلوث البيئة ٢- التربة- تلوث

٢- الهواء-تلوث ٦١٤,٧١

رقم الإيداع: ٢٠٠٧/٢٢٣٣٧٥

حقوق النشر : محفوظة للمؤلف

لا يجوز طبع أو نسخ أو تصوير أو تسجيل أو اقتباس أى جزء من الكتاب أو
تخزينه بأية وسيلة ميكانيكية أو إلكترونية بدون إذن كتابي من المؤلف مقدماً

إهداء

إلى كل من علمنى حرفاً فى مشوار العلم الطويل
إلى كل أساتذتى الذين بذلوا جهدهم مخلصين
ليمهدوا لنا الطريق ويتخطوا بنا العقبات ويذلوا
لنا الصعاب ، أقدم لهم خاص شكرى وتقديرى
لجهدهم وعرفانا منى بالجميل

رقم الصفحة	المحتويات	مقدمة
٣		
٩	الكائنات الحية الدقيقة والإنسان	الفصل الأول :
٩	منشأ الكائنات الحية الدقيقة	
١٠	الصفات العامة للكائنات الحية الدقيقة	
١٢	علوم الكائنات الحية الدقيقة	
١٣	الكائنات الحية الدقيقة والأغذية	
١٤	لولا : الجانب الاقتصادي الإيجابي	
٢٣	ثانيا : الجانب الاقتصادي السلبي	
٣١	الفيروسات	الفصل الثاني :
٣٤	خواص الفيروس	
٣٤	قياس حجم الفيروس	
٣٥	شكل الفيروس	
٣٧	تركيب الفيروس	
٣٩	زراعة الفيروس	
٤١	ميكانيكية الإصابة بالفيروس	
٤٢	الكشف عن الإصابة للفيروسية	
٤٥	انتقال الفيروسات	
٥١	الخمائر	الفصل الثالث :
٥١	الصفات العامة	
٥٣	تكاثر الخمائر	
٥٦	نمو الخمائر	
٥٨	الخمائر الاقتصادية	

٦١	أنواع الخميرة
٦٣	إنتاج الخميرة
٦٤	أهمية الخميرة
٦٧	الفصل الرابع : الفطريات
٦٩	التركيب
٧١	التغذية
٧٢	التكاثر
٧٨	الأهمية الاقتصادية
٨٥	الفصل الخامس : شكل وتركيب الخلية البكتيرية
٨٥	أولاً : الشكل المظهري للبكتيريا
٨٥	حجم الخلية البكتيرية
٨٧	شكل ونظام تجمع الخلايا البكتيرية
٩٢	ثانياً : تركيب الخلية البكتيرية
٩٣	أولاً : السطح الخلوي
٩٩	التركيب الكيماوي
١٠١	ثانياً : البروتوبلاست
١٠٩	الفصل السادس : حركة وتجرثم الخلية البكتيرية
١٠٩	أولاً : الحركة البكتيرية
١١٢	حركة البكتيريا التي تقتدر للأسواط
١١٣	ثانياً : التجرثم البكتيري
١١٤	فسيولوجيا التجرثم
١١٧	تكوين الجراثيم الداخلية
١١٨	التركيب الداخلي للجراثومة

١٢٠	الأجسام المصاحبة للجراثيم
١٢٠	إنبات الجراثيم

١٢٥ تغذية ونمو الخلية البكتيرية الفصل السابع :

١٢٥	أولاً : تغذية البكتيريا
١٢٨	أولاً : البكتيريا الممثلة للضوء
١٢٩	ثانياً : البكتيريا الممثلة للمواد الكيميائية
١٣٦	ثانياً : النمو البكتيري
١٣٧	قياس النمو الميكروبي
١٣٧	أولاً : الطرق المباشرة
١٣٨	ثانياً : الطرق الغير مباشرة
١٣٩	حساب النمو البكتيري
١٤٠	تنظيم النمو
١٤٢	منحنى النمو البكتيري

١٤٩ أيض وإنزيمات الخلية البكتيرية الفصل الثامن :

١٤٩	أولاً : الأيض البكتيري
١٥٢	التنفس البكتيري
١٥٤	أولاً : التنفس الهوائي
١٥٧	أيض الكربوهيدرات
١٥٩	ثانياً : التنفس اللاهوائي
١٧٠	أيض المركبات النيتروجينية
١٧٥	أيض الدهون
١٧٥	ثانياً : الإنزيمات البكتيرية
١٧٦	أنواع الإنزيمات
١٧٧	العوامل التي تتحكم في تخليق الإنزيمات البكتيرية

١٧٨	طبيعة الإنزيم	
١٨١	العوامل المؤثرة على نشاط الإنزيم	
١٨٤	تقسيم الإنزيمات	
١٨٥	التطبيقات العملية للإنزيمات الميكروبية	
١٨٩	عوامل البيئة والخلية البكتيرية	الفصل التاسع :
١٨٩	أولاً : العوامل الطبيعية	
٢٠٦	ثانياً : العوامل الكيميائية	
٢٢٥	تقسيم البكتيريا والأهمية الاقتصادية	الفصل العاشر :
٢٢٥	أولاً : تقسيم البكتيريا	
٢٢٦	أولاً : الوضع التقسيمي للبكتيريا	
٢٣١	ثانياً : للتسمية	
٢٣٥	ثالثاً : التصنيف	
٢٤١	الخصائص والمعايير المستخدمة في تصنيف البكتيريا	
٢٤٦	ثانياً : الأهمية الاقتصادية للبكتيريا	
٣٣٧	ميكروبيولوجيا الهواء	الفصل الحادي عشر :
٣٤١	ميكروبيولوجيا المياه	الفصل الثاني عشر :
٣٤٤	تنقية مياه الشرب	
٣٤٨	الفحص الميكروبيولوجي	
٣٥٥	التقييم	

٣٥٩	المحتوى البكتيرى
٣٦٢	التغيرات البكتيرية فى اللبن
٣٦٣	مصادر تلوث اللبن
٣٦٥	عمليات ما بعد الحلب
٣٦٦	إختبار كفاءة البسترة
٣٦٧	جودة اللبن
٣٦٨	أنواع الفساد
٣٧٦	فساد اللبن على درجات الحرارة المنخفضة
٣٧٦	فساد اللبن المكثف والمجفف
٣٧٧	فساد الزبد
٣٧٩	فساد الجبن
٣٨١	الأمراض التى تنتقل باللبن

٣٨٥	أولاً : تلوث الغذاء
٣٨٦	أ : المصادر الطبيعية للتلوث الغذائى
٣٩٠	ب : التلوث الغذائى أثناء التداول والتصنيع
٣٩٧	ثانياً : فساد الغذاء
٣٩٨	أسباب الفساد الغذائى
٤٠٠	العوامل المؤثرة على نوع الفساد
٤٠٣	أولاً : فساد الغذاء الخام
٤١٧	ثانياً : فساد الغذاء المعامل بالحرارة
٤٢٣	ثالثاً : التسمم الغذائى

٤٢٣	أسباب التسمم الغذائي
٤٢٤	البكتيريا المسببة للتسمم الغذائي
٤٢٦	السموم الميكروبية
٤٢٨	التسمم الغذائي العنقودي
٤٣٠	التسمم البوتشوليتي
٤٣١	التسمم السالمونيلا

٤٣٥ ميكروبيولوجيا التربة الزراعية

الفصل الخامس عشر :

٤٣٦	أولا : العوامل المؤثرة على النمو الميكروبي
٤٣٩	ثانيا : مكونات المجتمع الميكروبي
٤٤٦	ثالثا : التحولات الميكروبية للعناصر
٤٤٦	دورة الكربون
٤٥٠	دورة النيتروجين
٤٥٦	دورة الفوسفور

	المراجع
٤٦٣	المراجع الأجنبية
٤٦٦	المراجع العربية

المقدمة

مقدمة

علم الميكروبيولوجي هو العلم الذي يهتم بدراسة الكائنات الحية الدقيقة Microorganisms من مختلف نواحيها لفهم طبيعتها وأنواعها والأدوار التي تقوم بها سواء لصالح الإنسان ورفاهيته أو الإضرار به . كذلك يهتم هذه العلم بمحاولة التحكم في نشاطها تلك الكائنات الحية الدقيقة للحصول على أقصى فائدة مرجوة منها أو لتقليل أو منع الأضرار التي تسببها الأنواع الضارة منها سواء للإنسان أو الحيوان .

ونظراً لصغر حجم الكائنات الحية الدقيقة فإن إكتشافها ودراستها جاء متأخراً خاصة بعد إكتشاف الميكروسكوب وتطويره ثم ظهور أنواع متعدد من الميكروسكوبات مما مكن العلماء من رؤيتها ووصفها وتتبع طريقة نموها وتكاثرها ومعيشتها . وليس معنى ذلك أن الكائنات الحية الدقيقة لم تكن معروفة قبل ذلك ، ولكنها كانت معروفة من الناحية النظرية فقد كان الفلاسفة اليونان وعلماء العرب الأولين يدركون بثقة أن الأمراض تنتقل عن طريق كائنات حية دقيقة لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة .

وبعد جهود العلماء الأوائل الذين فتحوا الطريق أمامنا للتعرف على الميكروبات ، تطور هذا العلم بسرعة واتسعت المعلومات بسرعة وأصبح يضم فروعاً وتخصصات عديدة وهذا طبيعي بعد أن أكتشف الدور الهام الذي تلعبه الميكروبات في الحياة على هذه الأرض . فلقد أكتشف دورها في التخمرات وتحلل المواد العضوية ودورها في دورات العناصر المختلفة في الطبيعة وكعوامل مسببة للأمراض سواء للإنسان أو الحيوان والنبات . كما إكتشف أن الميكروبات عبارة عن مجموعة واسعة جداً من الأحياء تتضمن كل من البكتيريا Bacteria والفطريات Fungi والطحالب Algae والبروتوزوا Protozoa والفيروسات Viruses . هذا وقد شهدت السنوات

الأخيرة إكتشاف وحدات حية أصغر من الفيروسات ألا وهى الفيرويدات Viroids وهى لا تزيد عن كونها سلسلة منفردة من الحمض النووى Single Strand RNA تحتوى فى بعض أجزاء منها على سلسلة مزدوجة Double Strand وليس لها غطاء بروتينى كما فى الفيروسات وهى تسبب بعض الأمراض للنبات والحيوان .

تلعب أحياء الأراضى الدقيقة دوراً أساسياً فى المحافظة على خصوبة التربة الزراعية وعلى إمداد النباتات النامية بإحتياجاتها الغذائية من خلال معدنتها للمواد العضوية وتيسيرها للعناصر الغذائية وتثبيت النيتروجين الجوى وتكوين الدبال وإفرازها للكثير من المواد المشجعة للنمو كما أن تلك الميكروبات لها دور فعال فى المحافظة على التوازن البيولوجى فى الكون ، عن طريق إنتاجها لثانى أكسيد الكربون الذى تبلغ نسبته فى الجو حوالى ٠,٠٣ ٪ حجماً وذلك خلال عمليات تحلل المواد العضوية مما يعوض النقص الذى يحدث بسبب عملية التمثيل الضوئى المستمر كما أنها تحلل ملوثات البيئة والمبيدات الزراعية .

ولقد أيقن الإنسان وتأكد فيما بعد أن هذه الكائنات الحية الدقيقة تمتلك قوة جبارة ومقدرة فائقة . فهى قادرة على أن تجعل من الأقوياء الأصحاء مرضى ، وأن البعض الآخر له القدرة على تحويل المواد الصلبة إلى مخلفات سائلة يمكن تدويرها . كما أن منها أيضاً ما يمكنه تحويل الأطعمة الشهية إلى سموم ناقعة . ولقد تيقن الإنسان أيضاً أن من هذه الكائنات ما يمكنها أن تقلل من إنتاج المحاصيل المختلفة نتيجة لإصابتها للنبات مسببة له أمراضاً مختلفة .

وما لبث الإنسان أيضاً أن تعرف على أن من الكائنات الحية الدقيقة ما هو نافع له فى نواحي حياته المختلفة . وبالرغم من كثرة تعداد الكائنات

النافعة للإنسان إلا أن أهميتها الاقتصادية لم تتبين له إلا منذ سنوات قليلة . وفي خلال هذه الحقبة من الزمن سخر الإنسان هذه الكائنات في إنتاج كثير من المواد الكيماوية من العصارات النباتية المتخمرة كالكحول والخل والأسيتون ، كما استغلت هذه الكائنات أيضاً في إنتاج المضادات الحيوية التي أمكن عن طريقها علاج كثير من الأمراض الميكروبية التي كان يستعصى علاجها من قبل . كما استطاع الإنسان أن يعرف الدور الهام في زيادة خصوبة الأراضي والذي تقوم به محتويات الأرض من الكائنات الحية الدقيقة فتبين له أنها تعمل على التخلص من البقايا العضوية - نباتية كانت أو حيوانية - وتمنع تكسها بالتربة . وأنها تهدم أو تحلل المواد البروتينية والكربوهيدراتية المعقدة محولة أياها إلى مواد أبسط تعقيداً يسهل على النباتات المنزرعة استعمالها كمواد غذائية .

هذا ويعتبر كل من الميكروب والجراثيم من أخطر الموضوعات التي تمس حياة الإنسان حيث يتبادر إلى الأذهان عند ذكر الميكروبات آلام الأمراض المعدية ولكن هذا يعتبر احد جوانب الحقيقة لذا تعمقنا قليلاً ، فنحن لا نغالي حين نقول أن حياتنا في جوانبها المتعددة ما كانت لتستقيم على صورتها المعهودة بغير تلك الكائنات الحية الدقيقة.

وإذا كان الإنسان يعتمد على الغذاء في حياته وبقائه فإن للميكروبات دورها في هذا حيث تساهم في إنتاج المحاصيل وفي تصنيع بعض الأغذية المختلفة . كذلك فإننا نجد بعض الميكروبات تستقر في أمعاء الإنسان ويزوده بشئ من حاجاته الغذائية كالفيتامينات . كذلك فإن الميكروبات تشارك في صناعة الأطعمة المختلفة والكيماويات التي يشق علينا تخليقها في المصانع والمختبرات . وكذلك فإن الإنسان يستفيد من الميكروبات في التخلص من فضلاته الأمية ونفايات حياته وبدون الكائنات الحية الدقيقة لفرق الإنسان

إلى الأتقان فى ركام من فوقه ركام من الخبائث وما وجد مكان يسير فيه على الأرض .

ولكن الميكروبات فى الجانب الآخر تغزو غذاء الإنسان وجسمه وتسبب الأمراض والأوبئة وتلوث غذاءه وتفسد وتغير طبيعته وتركيبه الكيماوى . من أجل هذا أصبح إنتاج أغذية خالية من الميكروبات الممرضة أو المسببة للفساد من الأهمية بمكان حتى يمكن توزيع هذه المواد الغذائية وتداولها بصورة سليمة وصحية على مدار العام . حيث أن بعض هذه الأغذية تكون معبأة أو مطبوخة طبخاً لولياً أو مجهزة للتسخين .

ويستعرض هذا الكتاب ببساطة علاقة الكائنات الحية الدقيقة بالإنسان سواء فى علاقته بالتربة الزراعية أو بالبيئة أو بالصحة العامة وكذلك بالغذاء ومصادر التلوث وكيفية الفساد وحدث للتسمم هذا بجانب إعطاء فكرة مبسطة عن بعض الكائنات الحية الدقيقة وتركيبها ونموها وتكاثرها علاوة على تقسيمها ووضعها بين الأحياء . والله أسأل أن يودى هذا الكتاب الغرض المنشود منه فى هذا المجال لأبنائى الطلاب من طلاب كلية الزراعة ومراكز البحث العلمى والمهتمين بمجال الزراعة والمتخصصين فى مجال الميكروبيولوجيا الزراعية وأن يجعله فى ميزان حسناتى إنه سميع مجيب الدعاء .

المؤلف

الفصل الأول :

الكائنات الحية الدقيقة والإنسان

الكائنات الحية الدقيقة و الإنسان

Microorganisms and Man

منشأ الكائنات الحية الدقيقة

يقول الله عز وجل في سورة الطور " أم خلقوا من غير شئ أم هم الخالقون " (الطور ٣٥) ولقد ظهر لنا جلياً أن علماء الغرب في القرن السابع عشر قد حاولوا التهرب من أن هناك خالقاً مديراً حكيماً خلق الكائنات ، بل وبنوا نظريات ليس لها ما يساندها من الإثبات التجريبي ولم يكن لها أى منطق علمي تبنى عليه . فقد أثارت دويبات ليفنهوك التى رآها فى قطرة الماء ومسحة اللعاب وقطرة الخمر خيال نيدهام ١٧٤٩ بأن هذه الكائنات تنشأ ذاتياً فى مرق اللحم وسمى ذلك بالخلق الذاتى . إلا أن سبلنزانى ١٧٢٩ - ١٧٩٩ قام بغليان مرق اللحم ثم سد فوهة القارورة بعد الغليان فلم يظهر أى أثر للكائنات فى المرق ، إلا أن ذلك لم يكن كافياً لإقناع نيدهام واعترض بأن وجود الهواء عاملاً أساسياً فى نظريته وأن سبلنزانى أهمل هذا العامل . وقد استطاع كل من فرانس شولتسه وتيودور شفام فى الفترة من ١٨١٠ - ١٨٨٣ إظهار خطأ نيدهام وذلك بإمرار الهواء من خلال حمض كبريتيك مركز قبل الدخول إلى قارورة المرق واعترض نيدهام بأن الحمض يفسد خواص الهواء الخلاقة وتعتبر تجربة لويس باستير عام ١٨٦٤ هى التى سدت باب الجدل حول هذه الإدعاءات حيث تم غليان المرق المكون من السكر ومستخلص الخميرة فى ورق سحب عنقه على شكل عنق أوزة فى شكل أمبوبة شعرية فلم يحدث أى تغير فى المرق . وبالرغم من هذه التجربة الحاسمة بقى بعض المعارضين الذين كانوا يستخدمون مستخلصاً مائياً لقش النجيليات حيث ظهرت بكتريا بعد الغليان فى ورق باستير . ولكن سرعان ما اكتشف كوهن عصويات القش وأنها تكون جراثيم وأنها تموت إذا

استخدمت الحرارة الرطبة فوق درجة حرارة الغليان عند ١٢٠ درجة مئوية وسمى ذلك بالتعقيم وأصبح منذ ذلك الحين الأساس في العمل المعملى لبحوث الميكروبيولوجيا .

ثم أطل هذا الفكر العقيم مرة أخرى في القرن العشرين بمحاولة الربط بين ظواهر كيميائية بسيطة مثل اتحاد بعض الغازات وهي بخار الماء والميثان والأمونيا والهيدروجين تحت تأثير شرارة كهربية مولدة بفعل جهد كهربى مقداره ٦٠٠٠٠ فولت مكونة بذلك أثارا من بعض الأحماض الأمينية مثل الجليسين والانيين وألفا وبيتا والذي أشار إليه ميلر سنة ١٩٧٥ وبين منشأ الكائنات . ويدعى كاربنتر أنه في البداية تكونت مواد كربوهيدراتية ودهون وبروتينات ثم بدأت الحياة بظهور التركيبات النووية ... الخ من غير دليل ولا برهان وبتطبيق القوانين الإحصائية يؤول فرض الصدفة إلى الصفر والبديل الواجب الإيمان به هو أن الله هو الذى خلق كل الكائنات .

الصفات العامة للكائنات الحية الدقيقة

يقسم الله عز وجل في كتابه الكريم " فلا أقسم بنا تبصرون ^(٣٨) وما لا تبصرون ^(٣٩) " الحاقة" فيضع أمامنا علما عن أشياء لا نبصرها بالعين المجردة . وقد أمكن للإنسان بعد اكتشاف المجهر رؤية الكائنات الدقيقة التى لم يكن فى مقدوره رؤيتها من قبل وعرف الإنسان منذ ذلك الحين أن هناك عالما عظيما من الكائنات غير المرئية بالعين المجردة تتعايش معه ولها من القدرات مثل ماله وإن كانت خلية واحدة وهذه القدرات تلخصها فى ما يلى :

- ١- هضم وتمثيل الغذاء واستخدامه فى الطاقة والنمو .
- ٢- التكاثر بالانقسام المباشر كما فى البكتريا أو فى جزء من دورة حياة الفطريات والآخرى تكمل دورة حياتها بطور جنسى .
- ٣- التطفر لموائمة الظروف المتغيرة فى البيئة .

٤- التخلص من النواتج الضارة والزائدة عن استخدامات الطاقة والنمو والتكاثر.

٥- تغيير الوسط الذي تعيش فيه بطريقة مباشرة أو غير مباشرة .
هذا وتتميز الكائنات الدقيقة بأن النظام الوراثي في الكائنات بدائية النواة لا يحاط بغشاء يفصله عن السيتوبلازم ، وهو عبارة عن جزيء دقري مكون من شريط مزدوج من الـ DNA يتكاثر أو يتكرر عن طريق إتفراج Unwinding خيطي الحلزون المزدوج Double helix للـ DNA ويأخذ كل طرف منهما في تكوين خيط متكامل أمامه. والحلقة المقفلة هذه تعرف أحيانا باسم الكروموسوم الدائري وتمثل محتوياته من الجينات وحدة عبورية مفردة. أما الجهاز الوراثي في الكائنات ذات النواة الحقيقية فتمتلك نواة يحيط بها غشاء نووي وأن هذه النواة تتكاثر أو تتكرر عن طريق الإنقسام غير المباشر Mitosis

والكروموسوم الدائري يكون خاليا من الهستونات Histones وهي بروتينات قاعدية والتي توجد باستمرار وترتبط بالـ DNA في خلايا الكائنات ذات النواة الحقيقية.

غياب الأغشية المحددة للتركيب السيتوبلازمية في الكائنات ذات النواة البدائية حيث أن هذه الأغشية إن وجدت تكون إمتدادات من الغشاء السيتوبلازمي للخلية. وعلى ذلك فإن خلايا الكائنات ذات النواة البدائية لا تكون فجوات تخزينية Storage Vacuoles وبذلك فإن المواد المخزنة مثل الجليكوجين توجد حرة في السيتوبلازم. كذلك فإن إنزيمات التنفس لخلايا الكائنات ذات النواة البدائية توجد في الغشاء السيتوبلازمي في حين أن مثل هذه الإنزيمات توجد في خلايا الكائنات ذات النواة الحقيقية في أجسام غشائية متخصصة داخل الخلية تسمى الميتوكوندريا. ويلاحظ أيضا أن صبغات التمثيل الضوئي توجد في الخلية النباتية داخل تركيب تحاط بغشاء واضح هي البلاستيدات الخضراء.

الريبوسومات في الكائنات ذات النواة البدائية من النوع الصغير الحجم وغير موزعة على شبكة إندوبلازمية مثل ما يشاهد في الكائنات ذات النواة الحقيقية. وثابت الترسيب لها 80 S Sedimentation constant ، أما الريبوسومات في الخلايا ذات النواة البدائية فلها ثابت ترسيب 70 S .

الجدار الخلوى في الكائنات ذات النواة البدائية يتميز بوجود مادة فريدة في تركيبها الكيماوي وهى عبارة عن الميوكوببتيد (Murein) Mucopeptide وهذا المركب لا يوجد في جدر الخلايا ذات النواة الحقيقية. الأسواط التى تحملها الكائنات البروكاريوتية تختلف عن الأهداب التى تحملها الخلايا ذات النواة الحقيقية من حيث صفاتها المورفولوجية والكيماوية. الخلايا ذات النواة البدائية عاجزة عن تخليق المركبات الأستيرولية Sterols وليست كل الكائنات الدقيقة التى تعيش معنا تمتلك بذاتها كل ما ذكرناه من قدرات فهناك الأجسام الفيروسية التى هى أقل حجما وأصغر بكثير مما سبق وهى لا تقوم بهضم غذاء أو تمثيله أو استخدامه ولكنها تسيطر على الكائن العائل وجيناته وتوجهه لإكثارها وقد يودى ذلك إلى إهلاك العائل أو أنها تندمج معه وتكسبه صفات أخرى غير التى كان يمتلكها.

علوم الكائنات الحية الدقيقة

يعتبر علم الميكروبيولوجيا من العلوم الكبيرة المتفرعة وينطوى تحت هذا العلم العلوم الآتية :

- ١- الفطريات : ويتخصص هذا العلم فى دراسة الكائنات البدائية عديدة الأنوية الحقيقية التى لها طور جنسى ولها غزل فطرى ويدخل تحتها أيضا الخمائر وهى خالية من الكلورفيل .
- ٢- الطحالب : ويتخصص هذا العلم فى دراسة الكائنات الممثلة للضوء ذات النواة الحقيقية وهى مجموعة من الكائنات الغير متجانسة وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا .

- ٣- البكتريا : ويتخصص هذا العلم فى دراسة الكائنات وحيدة الخلية التى تتكاثر بالانقسام المباشر ذات النواة البدائية متعددة الأشكال .
 - ٤- الأكتينوميستات : ويتخصص هذا العلم فى دراسة البكتيريا ذات الأشكال الخيطية المتفرعة .
 - ٥- الفيروسات : ويتخصص هذا العلم فى دراسة الجزيئات إجبارية التطفل التى لا تمتلك إمكانيات خلوية وليس لديها صفات الكينونة .
- وتقسم علوم الكائنات الحية الدقيقة طبقاً للأهمية الاقتصادية إلى علوم الميكروبيولوجيا الطبية - الميكروبيولوجيا الصيدلانية - الميكروبيولوجيا البيطرية - الميكروبيولوجيا الزراعية - الميكروبيولوجيا الصناعية - الميكروبيولوجيا العسكرية.
- الكائنات الحية الدقيقة والأغذية**
- للکائنات الحية الدقيقة استخدامات غذائية ذات الأثر الاقتصادى الموجب كما أن لها وجهاً آخر له أثر اقتصادى سالب . والآثار الاقتصادية الموجبة لاستخدامات الكائنات الحية الدقيقة فى الغذاء هى على سبيل المثال :
- ١- الغذاء مثل فطريات عيش الغراب .
 - ٢- صناعة اللبن الزبادى مثل بكتريا حمض اللاكتيك .
 - ٣- صناعة الحفظ مثل بكتريا حمض اللاكتيك .
 - ٤- بعض الحالات المرضية مثل علاج عدم هضم الألبان .
 - ٥- تحسين بروتين الحبوب .
 - ٦- صناعة الخميرة للخبز أو صناعة الكحول أو أعلاف الحيوانات .
 - ٧- صناعة المنفحة البكتيرية .
 - ٨- إنتاج الإنزيمات الميكروبية .
 - ٩- إنتاج المواد الحيوية .
 - ١٠- إنتاج السيفاديكس .

١١- صناعة الجبلى .

١٢- صناعة الكحولات والمنبيات العضوية .

أما الآثار السيئة المترتبة على الأثر الاقتصادى السالب والتي سوف نتناولها بالتفصيل فى هذا الكتاب فهى على سبيل المثال :

١- فساد للأغذية .

٢- تسبب أمراضا للإنسان والحيوان .

٣- تنتج سموم فى الغذاء تؤدي إلى عواقب وخيمة للمستهلك .

وسوف نتناول الجوانب الإيجابية والسلبية للكائنات الحية الدقيقة بشئ من التفصيل .

أولاً : الجانب الاقتصادى الإيجابى

يمكن ذكر بعض الإيجابيات للكائنات الحية الدقيقة كما يلى :

١- فطريات عيش الغراب *Mushroom*

يستخدم الفطر البازيدى من جنس أجاريكس مثل *Agaricus Campestris* و *bisporus* فى إنتاج هذا النوع من الغذاء الأسمى وينمى هذا الفطر (المشروم) *Mushroom* على المخلفات النباتية بعد تعقيمها وإضافة بعض الإضافات المناسبة مثل الجبس الزراعى وأملاح الفوسفات إلى المخلف الذى تم تعقيقه بالبخار فى أسبته ذات تقوب كبيرة تسمح بالتهوية وفى بداية التحضين تغطى الأسبته بأكياس من البلاستيك المعقم حتى يتم نمو الغزل الفطرى ثم تمزق الأكياس البلاستيكية حتى تخرج الرؤوس الثمرية التى تستخدم فى الأكل وهذه الدورة تستغرق شهرين حتى الحصاد .

٢- بكتيريا حمض اللكتيك *Lactic acid bacteria*

يتم استخدام البكتريا من جنس لاكتوباسيلس *Lactobacillus* نوع بولجاريكس *bulgaricus* وكذلك من جنس ستربتوكوكاس *Streptococcus*

نوع لاکتیس *lactis* فى صناعة الزبادى ذلك النوع من الطعام المفضل والذى يتميز بقيمة غذائية عالية .

٣- بكتيريا المخللات *Bacteria of pickling*

استخدم التخليل كوسيلة للحفظ . كما سنتناول ذلك بالتفصيل فيما بعد . وبكتيريا المخللات تعتبر من بكتيريا حمض اللاكتيك *Lactic acid bacteria* جنس لاکتوباسیللى نوع *Lactobacillus delbruckii* وفى هذه الصناعة يوضع بعض الموالد مع المخللات حتى لا تموت البكتيريا من الحموضة .

٤- إنتاج إنزيم جلاكتوزيداز *Production of galactosidase*

وتستخدم هذه البكتيريا فى إنتاج الإنزيم الذى يقوم بهضم سكر اللاكتوز الموجود باللبن وهو يساعد المرضى الذين لا يستطيعون إنتاج هذا الإنزيم من هضم الألبان .

٥- تحسين بروتين الحبوب *Improvement of cereal protein*

يفتقر بروتين الحبوب إلى بعض الأحماض الأمينية وقد أمكن بواسطة أنواع خاصة من البكتيريا إنتاج مثل هذه الأحماض ولكنها تنتجها بالكمية التى تحتاج إليها هى حيث توقف إنتاجها عند الوصول إلى الحد الذى تكفى فيه منها وذلك بإطلاق نظام الكبح الإنزيمى الذى يوقف عملية تخليق هذه الأحماض وقد نجح كينوشيتا ١٩٥٦ فى عكس نظام الكبح وتمكن بواسطة طفرة معالجة بالإشعاع من إنتاج الليسين الغير موجود فى الدقيق وبإضافته ترتفع قيمة الدقيق الغذائية .

٦- صناعة خميرة الخبيز أو خميرة العلف *Feed and fooder yeast*

تعتبر هاتين الصناعتين من الصناعات ذات الأهمية الاقتصادية ويستخدم فى ذلك ميكروب الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* وفى كل الأحوال تنمى هذه الخميرة تحت ظروف غير هوائية أولا لتنمية قدراتها

التخميرية ثم إكثارها تحت ظروف هوائية لإنتاج الكتلة الحيوية . ووظيفة الخميرة فى صناعة الخبز هى رفع العجين لإعطاء القوام الجيد وذلك نتيجة إنتاج ك₂ أثناء نموها فى العجين وإعطاء الخبز الطعم المميز له .

٧- صناعة المنفحة *Renin production*

المنفحة هى عبارة عن إنزيم يتم الحصول عليه من المعدة الرابعة للعجول الرضع يستخدم فى صناعة الجبن حيث يحول هذا الإنزيم اللبن إلى جبن . ولكن نظراً لنقص إنتاج اللحوم فإن القوانين والاتجاه السائد هو تربية العجول سنة أو سنتين للحصول على كميات أكبر من اللحوم . ونظراً لتضاعف إنتاج الجبن فإن هناك نقصاً فى كمية المنفحة الناتجة . وقد أمكن التغلب على ذلك بواسطة فطر قادر على إنتاج إنزيم له خواص المنفحة *Renin like enzyme* ويرجع الفضل فى ذلك إلى أيواسكاكى وكيمى إيرما . ١٩٦٠ .

٨- إنتاج الإنزيمات الميكروبية

Production of microbial enzymes

من أهم الاستخدامات الحديثة للكائنات الحية الدقيقة هو إنتاج الإنزيمات الميكروبية وما له من أهمية قصوى فى الصناعات الغذائية والمنظفات الصناعية .

مثل إنتاج إنزيم البيتا جلاكتوزيداز من الخميرة والعوامل التى تؤثر فى نشاطه وإنتاج إنزيم الليباز من فطر *Aspergillus fumigatus* وفطر *Rhizopus sp* الذى يستخدم كمعاون فى تحليل الدهون .

٩- إنتاج المواد الحيوية *Single cell protein production*

فى عام ١٩٦٨ تمكن شامبانيات من إنتاج بروتين وحيد الخلية (scp) من بقايا الزيت الخام وهذا البروتين له قيمة غذائية عالية وقد تم اختباره على

الدجاج . ولو أمكن تحويل البقايا المتاحة لأمكن توفير ٧٠٠ مليون طن سنوياً ولا يحتاج ذلك إلى مساحة كبيرة من الأرض .

١٠- إنتاج السيفادكس *Production of cephadex*

هناك أنواع من الميكروبات من جنس *Leuconostoc* التى تنمو على السكروز وتقوم بإنتاج سلسلة سكرية طويلة تدخل فى تركيب مركب السيفادكس الذى يستخدم فى البحوث العلمية وتنقية البروتينات والإنزيمات وذلك بعد معالجتها كيميائياً ليصبح غير ذائب فى الماء .

١١- صناعة الجبلى

هناك أنواع من الميكروبات مثل *Xanthomonas* تنتج سكرأ عديداً يستخدم فى صناعة الأيس كريم ويقوم هذا السكر بإعطاء قوام مطاط (جبلى).

١٢- المعالجة الميكروبية لزيت البترول

Microbial treatment of oil spills

قد تلوث المياه بالبترول نتيجة لحوادث غرق ناقلات البترول العملاقة التى تتكرر سنوياً أو نتيجة لقيام هذه الناقلات بعمليات التنظيف وغسل خزاناتها. وإلقاء مياه الغسيل الملوثة فى عرض البحر أيضاً من أسباب تلوث مياه البحار بزيت البترول. كذلك يحدث عملية تلوث المياه بزيت البترول نتيجة تنفقه أثناء عمليات البحث والتنقيب عنه وذلك كما حدث فى شواطئ كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وذلك فى نهاية الستينات وتكون نتيجة لذلك بقعة زيت كبيرة الحجم قدر طولها بثمانمائة ميل على طول مياه المحيط الهادى وأدى ذلك إلى موت أعداداً كبيرة من الدرافيل والأسماك والكائنات البحرية الأخرى نتيجة هذا التلوث. كذلك قد حدث مثل

هذا أثناء حرب الخليج في منطقة الشرق الأوسط مما أدى إلى تلوث المياه وتدهور الثروة البحرية. وقد حدث هذا أيضاً في شواطئ فرنسا. وقد استخدمت الحواجز الملاحية البلاستيكية أو المطاطية أو الخشبية أو استخدام طريقة الإمتصاص بواسطة قش الأرز أو نشارة الخشب أو تبين القمح. كذلك استخدمت مواد كيميائية لكي ترتبط بالزيت حيث تصبح معلقة في الماء ليسهل التخلص منها أو تستخدم طريقة الاحتراق حيث يتم إشعال النيران في الزيت المتسرب والملوث للماء وكل هذه الطرق مكلفة وتحتاج لوقت طويل ومجهود جهيد.

لذلك كان استخدام الميكروبات من الأهمية بمكان حيث تحمل الميكروبات المستخدمة على مادة حاملة ثم تخلط ببقعة الزيت مما يعمل على تحليل الزيت وتكسيده في وقت قصير كما حدث في فرنسا منذ عدة سنوات والميكروبات المستخدمة في هذا العلاج هي :

Rhodococcus spp *Arthrobacter spp*

Candida spp *Pseudomonas spp*

١٣- استخدام الطحالب في الحد من الاحتباس الحراري

Use of blue green algae in mitigating green house gases

تتفرد الكائنات الحية الدقيقة بمقدرة فائقة على التأقلم على الظروف البيئية الصعبة والمتطرفة مثل درجات الملوحة ، الحموضة والقلوية ، درجات الحرارة ، الضغط المرتفع علاوة على الظلام والإضاءة. من هنا جاءت الأهمية في استخدام هذه الكائنات الحية الدقيقة في حل وعلاج المشكلات البيئية مثل مشكلة الاحتباس الحراري. ومن أهم الكائنات المستخدمة في الحد من هذه الظاهرة هي الطحالب الخضراء الزرقاء والتي تسمى بالسيانوبكتريا مثل أجناس :

Anabaena, Nostoc, Prochlorococcus, Synechococcus

وتمثل هذه البكتيريا نسبة كبيرة من الكتلة الحيوية فى المسطحات المائية حيث تقوم بعملية البناء الضوئى وتستهلك كمية كبيرة من ثانى أكسيد الكربون وتنتج كمية كبيرة من الأوكسجين حيث ترسب ثانى أكسيد الكربون على هيئة كربونات الكالسيوم حيث لا يعود ك ٢١ مرة أخرى للغلاف الجوى.

وظاهرة الاحتباس الحرارى هى عبارة عن حبس حرارة الشمس من الأرض عن طريق مجموعة من الغازات أهمها ثانى أكسيد الكربون الناتج من بعض الأنشطة مثل البيوت الزجاجية Green house gases.

١٤ - العلاج الميكروبي للملوثات العضوية

Microbial treatment of organopollutants

تعتبر مشكلة التلوث البيئى بالمركبات العضوية من المشكلات الخطيرة التى تهدد حياة الأحياء على سطح الكرة الأرضية خاصة مع التقدم الصناعى الهائل وكذلك فى ظل الحروب التى تجرى فى مناطق متفرقة وتخلف بماراً هائلاً متمثلاً فى كم النفايات والكيمياويات التى تتخلف عنها.

ينتج فى الولايات المتحدة الأمريكية حوالى ٣٧ بليون كجم من المركبات العضوية السامة وتتكلف حوالى تريليون دولار لمحاولة تقليل هذه الملوثات فى المناطق الملوثة بالطرق التقليدية ، وتعد الملوثات العضوية الأروماتية من أخطر هذه الملوثات مثل الـ DDT, BTEX, TNT & PAH حيث تحتوى على أكثر من حلقة مما يصعب عملية تحليلها ويزيد من ثباتها فى التربة هذا بالإضافة إلى وصولها عبر السلسلة الغذائية إلى الإنسان والحيوان وما يترتب عليها من تأثيرات مسرطنة ومطفرة. لذلك كان من الضرورى البحث عن طريق أسرع وأقل تكلفة وأكثر فاعلية فى معالجة هذه الملوثات وكان العلاج الحيوى والذي تزايد الإتجاه إليه فى الآونة الأخيرة وهى طريقة

تستغل فيها الكائنات الحية الدقيقة وأنشطتها المختلفة في معالجة هذه المشكلات وفى الكثير من الأحيان القضاء عليها نهائياً وقد جذبت الفطريات بخاصة الإهتمام لما لها من مميزات وخصائص جعلتها أكثر فعالية فى هذا الصدد.

ولقد تعددت العمليات التى يتم إستخدام الكائنات الحية الدقيقة والأنشطة المرتبطة بها فى التخلص من الملوثات العضوية السابقة فى التربة والماء وذلك من خلال تمثيلها إلى مركبات أقل تعقيداً وأقل سمية أو عن طريق معننتها إلى عناصر معدنية وثانى أكسيد الكربون وماء تحت الظروف الهوائية أو غاز الميثان تحت الظروف اللاهوائية. وقد درست مقرة كل من للبكتريا والفطريات فى تحليل مدى واسع من الملوثات البيئية كما وجد أن معدل عملية التحليل تعتمد على عوامل عديدة منها درجة الـpH ، الحرارة ، التهوية ، المجتمع الميكروبي ، توافر المغذيات والتركيب الكيميائى للمركبات الملوثة. والعلاج الحيوى للملوثات بواسطة الفطريات جذبت إنتباه العلماء خلال العقدين الماضيين وذلك لكفاءة الفطريات فى هذا الدور.

ولقد تم إختيار الفطريات أكثر من لميكروبات الأخرى لأن السمية للعديد من المركبات السابقة تحد أو تضعف قدرة البكتريا على تحليلها بينما الفطريات تصمد لما للمستويات العالية من السموم. وإيضاً تعتبر طريقة النمو الخيطى المتفرع للفطريات يسمح لها بالوصول إلى أماكن التلوث فى التربة. هذا علاوة على أن بعض نواتج التحليل البكتيرى قد تتضمن مركبات لها سمية المركب الأصى.

١٥- إستخدام البكتريا فى المقاومة البيولوجية

Use of bacteria in biological control

لقد أدى الإفراط فى إستخدام المبيدات الزراعية إلى عواقب وخيمة من شأنها الأضرار بالبيئة سواء التربة أو المياه أو المحاصيل الزراعية - لذلك كان لزاماً علينا البحث عن طرق بديلة لمقاومة الآفات.

وتعتبر المقاومة البيولوجية للطفيليات الممرضة والتي تعنى خفض كثافة الأنشطة المرضية لتلك الطفيليات في مرحلة سكونها أو نشاطها بواسطة كائن حي أو أحد مكوناته والذي يطلق عليه كائن مضاد ، ويتحقق ذلك بطريقة غير مباشرة من خلال تنشيط للكائنات المضادة الموجودة في التربة من خلال معالجات مختلفة أو يتم ذلك من خلال إضافة واحد أو أكثر من تلك الكائنات المضادة إلى تربة الطفيل أو زراعة نباتات معينة قادرة على إنتاج مركبات مثبطة أو سامة للطفيل المرضى.

وتهدف المقاومة البيولوجية إلى تقليل شدة أو حدوث المرض النباتي وذلك بإتقاص أو خفض كثافة أعداد الطفيل الممرض وتقليل عدوى العتيل النباتي بالطفيل ، أو بمعنى آخر إتقاص قدرته على إحداث المرض. ويجب الإيضاح أن المقاومة البيولوجية لا تعمل على إستئصال الطفيل الممرض ولكنها تعمل على الحد من تواجده وإنتشاره مما يؤدي إلى تقليل حدوث المرض النباتي بدرجة كبيرة. وتعتبر البكتريا من أهم الكائنات الحية الدقيقة المستخدمة في هذا المجال وذلك لسهولة تكاثرها ونموها ، قدرتها على إستخدام أشكال مختلفة من المواد الغذائية ، مقدرة أنواع منها على النمو في غياب O_2 وهذا يتيح إستخدامها في المقاومة البيولوجية تحت الظروف اللاهوائية.

تتميز بعض الأجناس الرئيسية في التربة مثل بعض الأنواع التابعة لجنس *Bacillus* بالمقدرة على إنتاج جراثيم داخلية وهذه الجراثيم تكون أكثر مقاومة ممن الخلايا الخضريية للحرارة والمواد الكيماوية السامة والجفاف مما ينعكس بالتالي على طول مدة بقاء البكتريا في حالة حياة. الأجناس ذات الأهمية في المقاومة البيولوجية مثل الجنس *Bacillus* تمتلك بعض أنواعها أسواط تساعد على الحركة في فراغات التربة المليئة بالماء وبذلك يمكنها الوصول إلى بعض الفطريات الممرضة للنباتات ذات الطبيعة المائية مثل

فطريات جنس *Phytophthora*. عدد من الأنواع البكتيرية لها القدرة على إنتاج مضادات حيوية لها تأثير مثبت أو قاتل للكائنات الدقيقة الأخرى. أثبتت الأبحاث معيشة بعض الأنواع داخل أنسجة العائل دون إحداث ضرر لها حيث تدخل عن طريق الجروح أو الأسطح المقطوعة مثل الدرنات ثم تحمل إلى أعلى حيث تتمركز في لوعية الخشب وهذا الموقع يعطى مقاومة للعائل ضد فطريات الذبول الوعائى ، ولذلك فإن غمر درنات البطاطس قبل زراعتها في محلول أحد هذه البكتريا مثل البكتريا *Bacillus megaterium* يمكن أن يعطى مقاومة بيولوجية ضد أمراض الفيوزاريوم. ومن أشهر البكتيريا المستخدمة في هذا الصدد الأسماء الآتية :

Pseudomonas fluorescens, Pseudomonas spp., Pseudomonas putida, Agrobacterium radiobacter, Bacillus spp., Erwinia radiobacter, Streptomyces spp., Pasteuria penetrans.

١٦- إنتاج المواد السطحية الحيوية ميكروبيا :

Microbial production of biosurfactants

المواد السطحية عبارة عن مركبات حيوية تنتجها الميكروبات ، وهى تتركب من جزيئات تحتوى على جزء محب للماء (إما أحماض أمينية أو بيتيدات أو سكريات عديدة) وآخر كاره للماء (أحماض دهنية) وهى ذات أوزان جزيئية مختلفة (منخفضة أو مرتفعة) وتتميز بنشاط سطحى عالى ، وهذه الخصائص تجعلها قادرة على خفض التوتر السطحى بين الأسطح فى كل من المحاليل المائية والمخاليط الهيدروكربونية وتكوين مستحلبات دقيقة ، وذلك بمنحها خصائص جيدة ومن أهم مميزات المواد السطحية الحيوية عن تلك المخلقة كيمائيا بعدة مميزات أهمها قلة سميتها وتنوعها وقابليتها للتحلل الحيوى هذا علاوة على إمكانية تخليقها من خلال عمليات التخمير وبكميات كبيرة كذلك

لها تطبيقات ذات كفاءة عالية في حماية البيئة بجانب إستخدامها في نواحي صناعية كثيرة مثل إستخلاص الوقود الخام والعناية بالصحة وعمليات التصنيع الغذائي كذلك فهي ذات نشاط نوعي عالي في مدى واسع من درجات الحرارة العالية و pH والملوحة ويمكن إنتاجها بإستخدام المخلفات الزراعية الرخيصة.

١٧- الإحساس الحيوي والبيئة *Biosensor and environment*

من أهم الجوانب الإقتصادية الإيجابية للكائنات الحية الدقيقة هو إستخدامها في مراقبة البيئة وعناصرها المختلفة حتى يسهل معالجة أوجه القصور والحفاظ على البيئة نظيفة *Keep it clean*. حيث أنه بعد سنوات عديدة من التطور التكنولوجي بدأت عناصر الإحساس الحيوي في الإنتقال من المعامل إلى التطبيقات التجارية حيث ظهرت أهميتها في التكنولوجيا الحيوية ، *Information processing*، *Nanotechnology* وكل هذه وسائل حديثة واعدة تفتح الباب لمراقبة العديد من الملوثات البيئية وهي ما تسمى بالـ *Biosensors* هذا ولقد تنوعت أنواع الإحساس الحيوي مثل :

Enzyme biosensor, Microbial biosensor, Amperometric biosensor, Potentiometric biosensor, Conductance biosensor and Optical biosensor.

ثانياً : الجانب الإقتصادي السلبي

١- التلوث الغذائي البكتيري *Bacterial food contamination*

يعتبر التلوث الغذائي هو الأثر السلبي الواضح على الإنسان حيث بينت التوابع الصحية للتلوث عن تقرير منظمة الصحة العالمية (الصحة والبيئة) ١٧ نوعاً من البكتيريا وثلاثة أنواع من الفيروسات وأربعة أنواع من الحيوانات الأولية وأربعة أنواع من الديدان ضمن الممرضات التي تحملها

المواد الغذائية وقد تخلصت الدول المتقدمة من الأوبئة كالتيفود والملاريا والطاعون ولكن الأمراض المتصلة بتلوث الغذاء قد زادت.

هذا بالإضافة إلى تلوث الغذاء بالهرمونات التي تستخدم في تطعيم الحيوانات وعلاجها وكذلك المضادات الحيوية في مزارع التسمين وهي قد تسبب أضراراً صحية للإنسان نتيجة تراكمها في الجسم نتيجة تناول الأغذية على فترات طويلة. هذا ناهيك عن تلوث الغذاء ببقايا المبيدات التي تستخدم في الزراعة التي قد تسبب الضرر السريع أو المتراكم من إضعاف جهاز المناعة أو الخلل في الجهاز العصبي أو إلى الإصابة بالسرطان والفشل الكلوي والكبدى المتسبب من الإصابة بالفيروسات المتخصصة لإصابة هذه الأعضاء في الإنسان.

٢- السموم البكتيرية والبيئة Bacterial toxins and environment

لا يخلو أى غذاء يتناوله الإنسان من الميكروبات حيث تحتوى الأغذية من مصادرها الطبيعية على الميكروبات ، كما تتعرض للتلوث أثناء تداولها ونقلها وتصنيعها. ويؤدى وجود الكثير من الميكروبات في الأغذية إلى فسادها أو إفراز سموم بها مسببة لأمراض التسمم الغذائى (food poisoning) كما تنتقل بعض الميكروبات الممرضة عن طريق الأغذية مسببة لبعض الأمراض للإنسان. وتعتبر اللحوم والدواجن ومنتجاتها من الوجبات الجاهزة من الأغذية المفضلة لدى المستهلكين لسهولة تجهيزها ولطعمها المستساغ ولقيمتها الغذائية العالية لما تحتويه من نسبة عالية من البروتين الغنى بالأحماض الأمينية الأساسية والأملاح المعدنية ، فهي تتعرض أيضاً للتلوث بالميكروبات الممرضة مما يجعلها خطراً على صحة الإنسان ومن هذه الميكروبات الشائعة التي تتواجد على اللحوم ومنتجاتها أجناس بكتيرية مثل :

Listeria , *Staphylococcus* , *Pseudomonas* بالإضافة إلى أفراد مجموعة القولون.

ومن أخطر هذه السموم نجد ما هو يسبب التسمم العنقودي Staphylococcal poison مثل ميكروب Staphylococcus aureus والمسبب لمرض Salmonellosis مثل *Salmonella spp* والمسبب لليستريا Listeriosis مثل *Listeria monocytogenes* ومرض الجمرة الخبيثة Anthrax ويسببه بكتريا *Bacillus anthracis* وهذه الأخيرة من الأهمية بمكان نظراً لما لها من صور مختلفة مثل الجمرة الجلدية Cutaneous والجمرة الرئوية Inhalation وكذلك الجمرة المعوية Gastrointestinal anthrax.

٣- التسمم بفطريات عيش الغراب Poisoning by Mushroom toxins
يلعب نوع الفطر المستخدم في الطعام وكمية الثمار المأكولة دوراً رئيسياً في ظهور الأعراض على من يتناول هذا النوع من الطعام. وحيث أن التركيب الكيماوى لكثير من سموم فطريات عيش الغراب غير معروف حيث أن تعريفها بشكل إيجابى فى الغالب يكون من الأمور الصعبة أو المستحيلة ، لذلك فإن التسمم بفطريات عيش الغراب يتم تعريفه وتصنيفه على أساس تأثيراتها الفسيولوجية. وكذلك قامت كثير من الأبحاث بدراسة سموم عيش الغراب والتي أمكن تقسيمها إلى أربعة مجموعات categories هي :

١- سموم بروتوبلازمية Protoplasmic toxins
وهى السموم التى ينتج التسمم عنها نتيجة تحطيم الخلايا ثم يليها فشل الأعضاء فى أداء وظائفها الطبيعية المعتادة.

٢- سموم عصبية Neurotoxins
وهى السموم والمركبات التى تظهر أعراضاً عصبية مثل الغيبوبة والإضطراب والهلوسة والهيجان والكسل والخمول والضعف العام.

٣- سموم معوية Gastrointestinal toxins

تعتبر سموم ومركبات هذه المجموعة من السموم التي ينتج عن تناولها وبشكل سريع الشعور بالغثيان ، القيء ، التشنجات ، الإسهال والهبوط العام.

هذا ويتوفر في الوقت الراهن الاختبارات الإكلينيكية السريعة لتشخيص سموم فطريات عيش الغراب الخطيرة جداً مثل سموم Amanitins وهي من السموم الخطيرة حيث يتم الكشف عن السم في البول أو بلازما الدم ويحتاج الكشف عن هذا السم لفترة تحضير قد تصل إلى ساعتين ، كما أن الأعراض قد تظهر على الإنسان الذي أصيب بالتسمم بعد يوم أو إثنين. كذلك يتم الكشف عن هذا السم باستخدام تكتيك الـ HPLC وهي طريقة سريعة وحساسة ونظراً لعدم توفر معظم الطرق المستخدمة في الكشف عن سموم فطريات عيش الغراب فإن تشخيصها يعتمد بشكل كامل على الأعراض والتاريخ الغذائي للإنسان تحت الفحص.

٤- السموم الطحلبية والبيئية Cyanotoxin and environment

تعتبر الطحالب الخضراء المزرققة Blue green algae والتي تسمى أيضاً بالـ Cyanobacteria من الكائنات الحية الدقيقة الممثلة للضوء وتقوم أيضاً بتثبيت نيتروجين الهواء الجوي كما أنها تستخدم كلقاح في الأراضي المنزرعة بالأرز. ويوجد بعض من الطحالب التي لها تأثيرات سلبية وغير مرغوب فيها على البيئة المحيطة بالطحلب حيث تنمو وتنتج مركبات ثانوية ليعضية ذات الأثر السام والقاتل والتي تسمى بالسموم الطحلبية. ومن ثم تعتبر هذه النواتج الثانوية ذات تأثير سلبي على جودة المياه من حيث الطعم والرائحة ناهيك عن التأثير السام إذا تم استخدامها ، سواء بواسطة الإنسان أو الحيوان أو الطير ومن ثم الثروة البحرية والبرية. وقد أثبتت الدراسات

المستقيضة وجود نوعين من هذه السموم نوع منها يسبب الموت البطيء حيث يسبب موت الكائن الحي خلال ٤٨ ساعة وهذه السموم تفرزها الخلايا الطحلبية الحية. أما النوع الآخر فهو سريع القتل حيث يسبب القتل خلال ٤ ساعات وهذه السموم تصل لمصادر المياه نتيجة تحلل الخلايا الطحلبية. ومن أهم الأجناس الطحلبية السامة :

Anabaena spp., *Nostoc spp.*, *Oscillatoria spp.*, *Microcystis spp.* and *Nodularia spp.*

٥- الحرب الميكروبية Microbial warfare

استغل الإنسان قدرة الميكروبات على إحداث الأمراض - فقام بتجنيدھا فيما نطلق عليه الحرب الميكروبية (الجرثومية) Microbial or germ warfare وهي نوع من الحروب المدمرة للحياة توظف فيها الميكروبات أو سمومها لقضاء على الإنسان وحيواناته ومزروعاته الإقتصادية. مثال ذلك ما حدث في نهاية عام ٢٠٠١ حيث وجد ٢٢ حالة من Anthrax تم إرسالها عن طريق البريد إلى الولايات المتحدة تم تشخيصها و تصنيفها في ١١ حالة جلدي و ١١ حالة إستشاقى. ويعتبر Anthrax من الأمراض المشتركة بين الحيوان والإنسان يصيب الحيوانات الأليفة والبرية ثم ينتقل إلى الإنسان. ويستخدم *Bacillus anthracis* كسلاح بيولوجي سواء في عمليات إرهابية أو في الحروب البيولوجية حيث توفي ٥ أفراد أصيب العشرات بعدوى المرض بعد تسلم خطابات ملوثة بجرثومة الجمره الخبيثة في الولايات المتحدة في عام ٢٠٠١ أثناء حرب الحلفاء على العراق Allied war on Iraq

الفصل الثانی :

الفیروسات

الفيروسات

Viruses

يعتبر الفيروس من مسببات المرضية المعدية ، ويعرف العلم الذى يدرس النواحي المختلفة لهذه المسببات بالفيروسولوجى Virology أى علم الفيروس . والفيروس يعتبر هو المسبب المرضى المسئول عن أكثر من نصف الأمراض المعدية والوبائية التى تصيب الإنسان ومئات الأمراض التى تصيب الحيوان والنبات . أهم الفيروسات من الناحية الإقتصادية هى فيروسات البكتيريا وأهمها ما يصيب البكتيريا النافعة حيث تؤدي إصابتها بالفيروس إلى خسائر إقتصادية خاصة فى الصناعات الكيماوية والغذائية التى تعتمد على البكتيريا أو بكتيريا التربة النافعة . هاذ ويرجع اكتشاف الفيروس كمسبب مرضى إلى العالم الروسى Ivanowski عام ١٨٩٢ نتيجة لتجاربه على عصير نبات الدخان المصاب واستخدامه فى عدوى نباتات سليمة والتى سببت مرض البرقشة أو موزيك الدخان TM .

وتعرف الفيروسات بأنها عبارة عن جسيمات متناهية فى الصغر ، وترى بالميكروسكوب الضوئى العادى ويمكن مشاهدتها بواسطة الميكروسكوب الإلكترونى وتتميز الفيروسات بأنها لا تنمو مترممة على المواد العضوية الميتة ولا على البيئات الغذائية المصنعة ولكنها متطفلة إجبارياً ، لا نمو إلا على نسيج حى سواء كان من نبات أو حيوان أو إنسان أو بكتيريا لو داخل العائل القابل للإصابة بها . وهى متخصصة فى العائل الذى تصيبه بدرجة عالية .

ويعتبر الفيروس على هامش الحياة ففى وجوده خارج الخلية الحية يشبه مادة صغيرة غير حية عادة لا تتحرك خاملة Inert تفتقر إلى الإنزيمات وإلى القوة الخاصة بالتضاعف . أما عند إلتصاقه بالخلية ودخوله فإنه يصبح

حياً ويبدأ في نشاطه للعملية الأساسية ألا وهي التضاعف ويقال تضاعف وليس تكاثر لأن العملية الأخيرة وهي التكاثر من صفات الكائن الحي القادر على التكاثر بمفرده . وللفيروس علاوة على تلك خاصية وراثية مميزة وعلى ضوء ما سبق فإن الفيروس يشبه الأجسام الأخرى التي تتضاعف وتحفظ بكيانها الوراثي Genetic integrity ويمكن أن ينظر إليه كجسم يعتمد كثيراً على مساعدة الخلايا الحية التي تمده بأساسيات النمو والتضاعف.

ويتراوح حجمها بين ١٠ - ٣٠٠ مليمكرون وهي أجسام متطفلة حتماً وممرضة للإنسان والحيوان والنبات والبكتيريا حيث يستطيع الجينوم الخاص بها المكون من الحامض النووي التحكم وإستخدام القدرات التمثيلية لخلايا العائل لصالح تكاثر الفيروس حيث تتكاثر أو تتزايد في العدد في وجود العائل المناسب . وتقسم الفيروسات على أساس العوائل التي تصيبها إلى الآتى:

١- فيروس البكتيريا Bacteriophagineae

ويرجع الفضل لإكتشاف هذه المجموعة الفيروسية إلى العالم الإنجليزي Twort عام ١٩١٥ حيث لاحظ تحلل بعض المزارع البكتيرية بدون سبب معروف آنذاك . وهذه المجموعة هي المتطفلة على البكتيريا وتسمى بكتيريوفاج Bacteriophage وهي تسبب كثيراً من المتاعب فى الصناعات الميكروبيولوجية التي تعتمد على سلالة نقية من البكتيريا مثل صناعة بعض أنواع الجبن وصناعة الزبادى وكذلك صناعة الخمور والخل ومن أمثلة هذه الفيروسات . فيروس بكتيريا القولون *E. coli* t1-t7 وفيروس بكتيريا الدوسنتاريا وتسمى لاقمات أو أكلات البكتيريا وكذلك يوجد من الفيروسات ما يصيب الأكتينومييسيتات ويسمى Actinophage كما يوجد فيروسات تصيب الخميرة وفيروسات تصيب الفطر والطحالب والبروتوزوا .

٢- فيروس النبات *Phytophagineae*

وهو الفيروس المتطفل على النبات ويسبب لها كثير من الأمراض الخطيرة مثل فيروس الموزايك *Mosaic virus* وفيروس الإصفرار *Yellow virus* وفيروسات النيكروزيس *Necrotic virus* وفيروسات التبقع الحلقى *Ring spot virus* وأمراض إتفاف الأوراق وغيرها .

٣- فيروس الحيوان *Zoophagineae*

وهو الفيروس المتطفل على أفراد المملكة الحيوانية كالإنسان والحيوان والحشرات والأسماك والطيور ويسبب لها أمراضاً وبائية مثل الحصبة *Measles* وشلل الأطفال *Poliomelitis* وجدرى الإنسان *Small pox* والأنفلونزا *Influenza* والحمى الصفراء *Yellow fever* والبرد العادي *Common cold* . وأيضاً من أمراض الحيوانات الفيروسية مرض الكلب *Rabies* والذي يمكن أن ينتقل إلى الإنسان والحمى القلاعية *Foot and mouth disease* ، وجدرى الأبقار *Cow pox* وطاعون الدجاج *Fowl plague* . وتصيب الفيروسات الحشرات أيضاً مسببة أمراضاً مثل شلل شغالات النحل *Paralysis of bees* ، تكيس الحضنة *Sac broad of bees* وأمراض إصفرار الحشرات ومنها مرض إصفرار بيدان الحرير . ومن الفيروسات ما يصيب الأسماك مسبباً أمراضاً منها جدرى السمك *Epithelium of barbus carp pox* . وفيروسات تصيب الدواجن مثل فيروس أنفلونزا الطيور *H5N1* الذى يتبع عائلة *orthomyxoviridae* الذى يكمن فى نماء الطيور ولعابها وأمعانها وتخرج فى مخلفاتها .

ومن الناحية المورفولوجية تقسم الفيروسات إلى ثلاثة مجموعات هى فيروسات عسوية أو خيطية *Filamentous* ، وفيروسات مكعبة الشكل

Cubic like shape وأخرى متعددة الأوجه Polyhedral shape وهى الأكثر تعقيداً فى التركيب .

Characteristics of virus خواص الفيروس

تعتبر صفة صغر حجم الفيروس حيث لا يرى بالميكروسكوب العادى المضى ويمر خلال المرشحات البكتيرية صفة مميزة له عن باقى مسببات المرضية . ولكن ظهر أن هناك أجسام أخرى غير الفيروسات يمكنها أن تمر خلال المرشحات التى تحجز البكتيريا مثل أجسام L-Forms of bacteria وحتى يكون أى تعريف للفيروس أقرب إلى الصواب لابد وأن يشمل على صفتين الأولى هى أن الفيروس صغير الحجم لا يرى بالميكروسكوب الضوئى العادى ولكن يمكن رؤيته عن طريق بالميكروسكوب الإلكتروني والثانية هى أنه يتضاعف أو يتناسخ داخل الخلايا الحية فقط وشديد التخصص . لكل فيروس نسيج خاص يستطيع النمو والتضاعف فيه ويختلف الفيروس عن الريكتسيا التى هى متطفلة إجبارياً إلا أنها أكبر حجماً من الفيروس . ويتركب الفيروس من بروتين وحمض نووى، وليس للفيروس القدرة على التضاعف على بيئة غذائية صناعية ولكن التضاعف والتجمع والسلوك ودورة الحياة للفيروس تكون داخل جسم العائل القابل للعوى أو النسيج الحى.

Measurement of virus size قياس حجم الفيروس

يقاس حجم الفيروس بالمليمكرون وتختلف الفيروسات من حيث الحجم فنجد أن فيروس شلل الأطفال قطره ٣٠ مليمكرون وفيروس الحمى الصفراء قطره ٢٠ مليمكرون وفيروس الحمى القلاعية قطره ١٠ مليمكرون . ونظراً لدقة حجم الفيروسات وصعوبة قياس حجمها فإنه تستخدم طرق خاصة لدراسة حجمها مثل التصوير بالميكروسكوب

الإلكترونى وبمعرفة قوة التكبير يمكن تحديد حجم الفيروس . كذلك استخدام أجهزة الطرد المركزى فائقة السرعة وبمعرفة السرعة التى يترسب عليها الفيروس يمكن معرفة حجمه . أو استعمال أغشية ذات ثقب معروفة القطر حيث أن الفيروس يمر خلال مرشحات البكتيريا لذلك إتجه التكبير إلى استعمال مرشحات ذات ثقب بأقطار مختلفة يمكن بواسطتها تقدير وقياس حجم جزيئات الفيروس . أو باستخدام الأشعة السينية (أشعة X) .

شكل الفيروس Morpholog of virus

امكن تحديد شكل والتركيب البنائى للفيروس بواسطة المعلومات التى تم الحصول عليها نتيجة لإستعمال الأشعة السينية وأجهزة الطرد المركزى فائقة السرعة وإستخدام الميكروسكوب الإلكترونى ، ولقد أصبح الميكروسكوب الإلكترونى مهم جداً لدراسة الفيروس .

ويختلف شكل وحجم فيروسات الحيوان والبكتيريا والنبات إختلافاً بيناً وكقاعدة عامة فإن فيروس الحيوان يكون كروياً ، بينما يشبه فيروس البكتيريا شكل الحيوان المنوى حيث يكون الشكل ذو رأس عديدة الأوجه وذنب . أما فيروس النبات فهو ذو شكل عصوى وأن بعض الفيروسات تكون صغيرة الحجم تظهر متناسقة لدرجة أنها تظهر على هيئة بلورات أى أن لها صفة التبلور مثل فيروس مثل الأطفال وفيروس موزيك الدخان (TMV) . كما أن جزيئات الفيروس الواحد متساوية فى الحجم الأمر الذى يؤدى إلى استعمال هذه الصفة فى تقسيم الفيروسات المختلفة فنجد أن فيروسات مجموعة الجدري ذات جزيئات متشابهة وكذلك مجموعة الإنفلوانزا وكذلك يوجد إختلاف داخل المجموعة الواحدة فى العرض وفى الطول وفى درجة المرونة أيضاً .

يتكون البكتيريوفاج من رأس Head غالباً ما تكون سداسية الشكل متعددة الأوجه Polyhedral head وهي عبارة عن غشاء رقيق من البروتين يوجد بداخله الحامض النووي DNA . أما الذيل فإنه عبارة عن أنبوبة من البروتين بها إنزيم خاص وينتهي الذيل بوسادة يخرج منها خيوط متخصصة للإلتصاق بمراكز الإستقبال الموجودة بسطح الخلية العائل حيث يوجد بها تخصص على . ووجود البكتيريوفاج في التربة الزراعية قد يكون أحد العوامل المؤثرة على إنتشار ونمو بعض أنواع من البكتيريا الهامة في التربة الزراعية خاصة البكتيريا المثبتة لأزوت الهواء الجوى التكافلية *Rhizobium* sp. وأيضاً اللاتكافلية مثل الأزوتوباكتر *Azotobacter* sp. والكلوستريديوم *Clostridium* sp. وكذلك بكتيريا التآزت *Nitrifying bacteria* .

تبدأ الإصابة بالبكتيريوفاج بالإلتصاق خيوط الذيل بمراكز الإستقبال بجدار خلية البكتيريا ويخرج من الخيوط الإنزيم القادر على مهاجمة روابط كيميائية معينة بمراكز الإستقبال فيحللها ثم يندفع الحمض النووي للفيروس خلال الجدار إلى سيتوبلازم الخلية . وبعد ذلك ينفصل الغلاف البروتيني أولاً عن خلية البكتيريا ، ثم يقوم الحمض النووي للفيروس بتعديل المعلومات الوراثية في سيتوبلازم خلية البكتيريا لتقوم بعملية البناء الخاصة بالحمض النووي للفيروس وتضاعفه أو تضاعفه وبذلك يتم تسخير خلية البكتيريا لحساب الفيروس وبناء أفراده .

وعلى ذلك فإنه عندما يغزو البكتيريوفاج خلية البكتيريا المتخصصة له فإنه يتضاعف أو يتناسخ بها بشدة وأخيراً يحدث تحلل Lysis للخلية البكتيرية وتتطلق منها فيروسات جديدة قادرة على إحداث العدوى لخلايا أخرى من نفس النوع لو تبقى ساكنة بالتربة إذا لم تجد النوع البكتيري المتخصصة له . ويمكن مشاهدة أثر هذه الفيروسات على البكتيريا بتلقيح هذه البكتيريا في بيئة أجار في

طبق بترى وبعد النمو يضاف الفيروس المناسب وبعد فترة تشاهد مناطق خالية من النمو تسمى plaques نتيجة تحلل الخلايا البكتيرية بواسطة الفيروس، ويمكن الحصول على البكتيريا والفيروسات خلال أحد المرشحات البكتيرية حيث أن الفيروسات كما هو معروف تمر خلال المرشحات البكتيرية.

تركيب الفيروس Structure of virus

لقد أظهرت الدراسات باستعمال أشعة X والميكروسكوب الإلكتروني تناسق جزيئات الفيروس من حيث الشكل والحجم. ولأن معظم الفيروسات عبارة عن حمض نووي DNA أو RNA محاط بغلاف أو كبسولة من البروتين تسمى Capsid والتي تتكون من وحدات بنائية تسمى Capsomers يكون عددها ثابت في أي فيروس وبشكل الإثنان معاً نيوكليوبروتين أي أن جزيء الفيروس في أبسط صورته ما هو إلا نيوكليوبروتين .

وتطلق كلمة Virion على الجزيئات النامة الكاملة للفيروس والحاملة لصفة العدوى ، وكما سبق القول فإن الحمض النووي الذي يكون الجزء الداخلي للـ Virion إما أن يكون DNA أو RNA وليس الإثنان معاً . بينما يكون البروتين الجزء الخارجي ، وربما تختلف قليلاً بعض الفيروسات فمثلاً نجد في فيروس الإنفلونزا أن الجزء الداخلي يتكون من مخلوط من حمض نووي وبروتين . وأحياناً نجد غلغلاً حول البروتين يتكون من الدهون والبروتين وأحياناً يكون معها الكربوهيدرات .

ويعتبر بروتين الفيروس من بروتينات الجلوبيولين التي تكون مرتبة في سلاسل ببتيدية تختلف في عددها وطولها ووزنها الجزيئي طبقاً لاختلاف الفيروسات نفسها وتحتوي الفيروسات التي تصيب النبات على حمض نووي RNA بينما تحتوي فيروسات الحيوان على حمض نووي DNA أو RNA أما الحمض النووي للبكتيريوفاج فهو DNA . وتعتبر الدهون من المكونات

المهمة للفيروس بعد البروتين والحمض النووي ويختلف نوع الدهن باختلاف الفيروس . وقد وجدت بعض المكونات الأخرى في تركيب بعض الفيروسات فمثلاً وجد نشاط إنزيمى في تحضيرات بعض الفيروسات مثل الإنفلونزا .

وتتركب الفيروسات من جزيئات من الأحماض النووية والبروتينات ذات قدرة على التواجد بمفردها أو بشكل بلورات تتركب من عدة ملايين أو فى بعض الأحيان عدة بلايين من الجزيئات . وحببية الفيروس أو الفيرون Virion هى الوحدة المعدية وتتكون أساساً من مركز يكون من الحامض النووى محاط بغطاء بروتينى Protein يسمى كابسيد Capsid وهذا الغطاء يتكون من تحت وحدات بروتينية تسمى كبسوميرات Capsomers وفى بعض الفيروسات الأكثر تعقيداً نجد أن الكابسيد النووى Nucleocapsid (وهو المركز النووى مع الغطاء البروتينى) يحاط بغلاف envelop إضافى والبعض الآخر له زوائد أو نتوءات سطحية Spikelike surface appendages .

وكما أشرنا من قبل أن جزيئات الفيروس تحتوى إما على DNA أو RNA ولكن لا يتواجد النوعان من الأحماض النووية فى جزئ الفيروس الواحد . وهذا يختلف عما هو معروف عن وجود مثل هذه المكونات فى الخلايا الحية الأخرى والتى تحتوى بدون استثناء على كلا النوعين من الأحماض النووية . ومن المعروف أن DNA هو المادة الحاملة للصفات الوراثية Genetic information فى كل الكائنات الحية . إلا أنه فى حالة الفيروسات تحمل الصفات الوراثية على DNA بينما فى حالة بعض الفيروسات الأخرى تحمل الصفات الوراثية على RNA حيث تكون خالية من الـ DNA . وتختلف الفيروسات فى محتوياتها من DNA أو من RNA . وعادة يتواجد الـ RNA فى الفيروسات النباتية فى حين أن الفيروسات الحيوانية قد تحتوى على الـ DNA أو RNA ومن ذلك يمكن تقسيم

الفيروسات الحيوانية إلى مجموعتين حسب محتواها من الأحماض النووية أما فيروس البكتيريا فهو يحتوى دائما على DNA .

زراعة الفيروس Cultivation of virus

تزرع الفيروسات حيث تتكاثر بداخل الخلايا الحساسة والمتخصصة لها والتي تسمى Indicator strains والذي يمكن توضيحه بالزراعة في جنين الدجاج Chick embryo وفيها يلقح بيض الدجاج المخصب في عمر ٥ - ٧ أيام بنزع جزء من القشرة والتلقيح بالمادة المحتوية على الفيروس تحت ظروف معقمة ثم غلق الفتحة بشمع برفلين معقم وهذه الطريقة تستخدم في إنتاج أمصال ضد الجدري والحمى الصفراء والإنفلونزا وغيرها . كذلك يمكن الزراعة في بلازما الدم المتجلط Plasma clot وفيها يترك الدم يتجلط ثم تلقح البلازما المحتوية على قطعة من النسيج الحى بالفيروس في كيس من مادة معينة (كولديون) وهذه الطريقة تعتبر نواة والتي قد أدت إلى استعمال طريقة زراعة الأنسجة Tissue cultivation . أو باستخدام مزرعة الأنسجة Tissu culture وفيها توضع أنسجة معينة تفضلها فيروسات معينة في سیرم الدم أو في محلول من الأملاح المغذية لضمان بقاء وإستمرار هذه الأنسجة حية لفترة ما ثم تلقح الأنسجة بالفيروسات . وتستخدم هذه الطريقة في إنتاج الفاكسينات (الأمصال) وتمتاز هذه الفاكسينات المنتجة بهذه الطريقة عن المنتجة في أجنة الدجاج بأنها أقل ضررا على الأفراد الذين لديهم حساسية لألبومين البيض .

وتتم هذه الطريقة أيضا في أنابيب اختبار حيث أن الخلايا النامية في مزارع نسيجية يمكن أن تعمل على نمو مختلف الفيروسات الحيوانية . وفي هذه الطريقة تستعمل قطع الأنسجة خالية من التلوث وتزرع في محلول معقم من الأملاح والجلوكوز المضاف إليها الدم أو خلاصات الأجنة Embryo juices ثم تلقح الأنسجة النامية بالفيروس المراد تنميته ثم تحضن المزرعة

لفترة من الزمن . ويعتبر جنين الدجاج من أحسن مصادر الخلايا لعمل مزارع الأنسجة ويمكن الحصول على الخلايا من أجنة الدجاج وزراعتها بسهولة . والفاكسين الخاص بالتحضين ضد مرض شلل الأطفال ينتج جزيئات الفيروس اللازمة لإنتاجه في مزارع أنسجة خلايا الكبد التي تنمى في مزارع صناعية . وتتكاثر الفيروسات داخل الخلايا إما بتكوين جزيئات فيروسية جديدة بطريقة تحليلية Lytic phage ويسمى في هذه الحالة بالفيروس المحلل أى الشرس المميت . والطريقة الثانية أن تتكون جزيئات الفيروس الجديدة تحت تأثير ليزوجينى Lysogenic بمعنى أن DNA للفيروس يظل بالخلية فترة من الزمن يندمج فيها على صورة وحدات مبدئية Prophage مع النظام الوراثى للخلية البكتيرية ثم يتكاثر معه ليكون السلالة الليزوجينية أى خلايا لا تمثل طفرة مقاومة لجزيئات الفيروس . ولكى يتكاثر أى فيروس فى خلية عائله فلا بد من توافر عدة شروط منها أن خلية العائل لابد وأن تكون صالحة لإستقبال الفيروس ، وألا تحطم الفيروس بإنزيماتها المتخصصة . كذلك أن يحتوى جينوم الفيروس على معلومات إيقاف أيض الخلية العائل وأن يكون جينوم الفيروس قادراً على إستغلال ميتابوليزم الخلية العائل . وعلى ذلك قد تكون الإصابة الفيروسية للبكتيريا إما لىتية Lytic phage حيث يؤدى التكاثر العادى فى خلية العائل المتخصص إلى إزابتها Lysis process . ويختلف دورة الإصابة فى الفيروسات الليثية ولكنها تتشابه فى الأساس فعلى سبيل المثال نجد فيروس T6-phage فى بكتيريا E. coli ، إن الدورة تبدأ بالإلتصاق ثم حقن مادة الفيروس داخل الخلية ويحتوى DNA الفيروس على تعديل يمنع عمل الإنزيمات المحللة التى تفرزها خلية العائل فبدلاً من أن يحتوى على السيئوزين نجده يحتوى Glucosylates hydroxymethyl cytosine ، وهذا التغيير يوقف تأثير إنزيمات النيوكلييز .

ولكن فى نموذج إكثار الفيروس الليزوجينى Lysogenic phage أى الفاج المعتدل Temperate حيث تشمل دورة الإكثار ثلاث مراحل هى إستقرار جينوم الفيروس فى الكروموزوم البكتيرى وفى بعض الأحيان فى بلازميد البكتيريا ، ثم تتاسخ DNA الفيروسى مع كروموزوم البكتيريا أو البلازميد . وبعد ذلك تحت ظروف معينة يتم إنفراد جينوم الفيروس وحدث الدورة الليسوجينية .

ميكانيكية الإصابة بالفيروس Mechanism of viral infection

لا تختلف ميكانيكية الإصابة فى الخلايا الكبيرة سواء خلايا نباتية أو حيوانية كثيراً عن تلك الصورة الليتية أو الليسوجينية التى تحدث فى البكتيريا. وعموماً سواء فى فيروسات RNA أو DNA يتم دخول الفيروس إلى الخلية النباتية أو الحيوانية عن طريق الحشرات الناقبة الماصة أو الجروح أو الهواء أو الماء . ومن المعروف أن خلايا النبات والحيوان تحتوى على فتحات كبيرة تسمح بنفاذ الفيروس إلى داخلها . ويتم للفيروس السيطرة بعد تحلل الغلاف الفيروسى بفعل إنزيمات خلية العائل . ويمكن أن يتم ذلك فى السيتوبلازم وفى حالة فيروسات RNA فإنها تعمل مباشرة على mRNA وقد يتم إرتباطه بأحد الريبوسومات ثم يتكون جسيم RNA وهو الشكل المتضاعف Replica form. وفى حالة الفيروس مزدوج الخيط يحمل الشكل المتضاعف إمكانية إزواج الخيط . وقد وجد أن كثيراً من الفيروسات يمكن إكثارها داخل الجنين المتكون فى بيض الدجاج وفى هذه الحالة يستخدم جزء بسيط من الأنسجة الداخلية مثل أنسجة الأغلفة المبطنه للسطح الداخلى لقشرة البيضة التى تحتوى على جنين ويوضع فى التجويف سائل يحتوى على مواد مغذية للنسيج ومضادات حيوية لمنع البكتيريا من النمو ومحلول منظم لضبط الرقم الهيدروجينى .

الكشف عن الإصابة الفيروسية Detection of viral infection

يمكن الكشف عن وجود الفيروس داخل العائل بواسطة بعض التغيرات الطبيعية بالعائل ، وقليل جداً ما يتعرف على الفيروس باستعمال الميكروسكوب الإلكتروني . وحيث أن نشاط الفيروسات يكون داخل الخلايا الحية فقط فإن التعرف عليها يكون بمعرفة ما تحدثه من مظاهر إصابة . وقد يحدث نتيجة للتأثير المتبادل بين الفيروس والخلية تكوين بعض المحتويات الغريبة عن الخلية والتي يمكن رؤيتها بالميكروسكوب العادي وهذه تسمى بالمحتويات الدخلية وهي أجسام مختلفة في أحجامها وأشكالها تظهر إما داخل الميتوبلازم أو داخل النواة في النسيج المصاب وهي مميزة لوجود بعض الفيروسات المتخصصة للعائل .

الكشف عن البكتيريوفاج Detection of bacteriophage

يوجد البكتيريوفاج أينما توجد الخلايا البكتيرية العائل المتخصصة في التطفل عليها . فيوجد فيروس بكتيريا الأمعاء في البراز ومياه المجاري والذباب وزرق الدواجن وروث الحيوان . ويوجد أيضاً في التربة وعلى أجزاء محاصيل الخضر المتعفنة . ويتميز فيروس البكتيريا بتخصصه إذ أن الفيروس الواحد يصيب نوع واحد فقط أو أنواعاً أو أشكالاً متقاربة . وتصاب البكتيريا ذات الخواص الواحدة بنفس الفيروس .

والمظهر الأساسي لفعل البكتيريوفاج على البكتيريا العائل هو التحلل Lysis كما سبق القول وهذه الصفة تعبر عن نفسها بأن يصبح النمو على بيئة الأجار على الأطباق شفافة ويسمى المكان المصاب بالبكتيريوفاج على بيئة الأجار المحتوية على البكتيريا العائل بظاهرة Plaque . فالإصابة تسبب هذه الظاهرة نتيجة تضاعف الفيروس داخل الخلية وتحليلها وخروج البكتيريوفاج لإصابة خلايا أخرى وأحياناً لا تتم هذه العملية نظراً لوجود خلايا مقاومة

للإصابة بالفيرس نظراً لعدم وجود مستقبلات خاصة بالفيرس على سطح الخلية البكتيرية . أو توقف نمو البكتيريا لقلة الغذاء وزيادة عوالم الأيض البكتيرى . أو بسبب ظهور حالة تعرف بالليسوجنية Lysogeny وفيها تكون البكتيريا حاملة للفيرس Carrier وغير قابلة للتحلل أى أنها صامدة للإصابة الفيروسية وتعرف ظاهرة الإصابة بفيرس البكتيريا بما يسمى بالـ Plaques والتي تعبر عن المناطق الخالية من النمو البكتيرى على بيئة الأجار فى طبق بترى وتقف هذه المناطق عن الزيادة عندما تقف البكتيريا عن التكاثر ويكون شكل الـ Plaques متخصصاً بالنسبة لكل فيروس . ويمكن عزل البكتيريوفاج بواسطة تمرير السائل المحتوى عليه فى مرشحات بكتيرية التى تمنع مرور خلايا البكتيريا ويمر البكتيريوفاج فى السائل المترشح والذي يمكن إستقباله فى ورق معقم لحين إستعماله .

ويسبب البكتيريوفاج كثيراً من المتاعب فى مصانع التخمرات والألبان وغيرها من الصناعات التى تعتمد على مزارع بكتيرية نقيه للقيام بالتغيرات الكيماوية المطلوبة فإذا أصيبت هذه المزارع البكتيرية بالفاج فإنها تمرض ولا يمكنها القيام بالعمل وإنتاج المطلوب منها . وأصبح من الضرورى فى الصناعة فى الوقت الحاضر العمل على وقاية المزارع البكتيرية فى البائنات من التلوث بالفاج والبحث عن سلالات بكتيرية مقاومة للإصابة بالفاج .

الكشف عن فيروس الحيوان Detection of zoophagineae

يمكن التعرف على الإصابة بفيرس الحيوان على مستوى الحيوان أو النسيج أو الخلية المصابة . ومن المظاهر التى تثل على وجود الإصابة الفيروسية الحمى fever أو لارتفاع درجة الحرارة ، عدم التوازن Paralysis ، الموت Death ، الإلتهابات Inflammations ، التدهور فى الرئتين أو الكبد أو بعض الأعضاء الأخرى أو وجود بقع Spots على الجلد أو الأغشية المخاطية

Mucous membranes أو وجود محتويات داخلية Intracellular inclusion في خلايا خاصة . وفي حالة العائل الحامل للإصابة Carrier فيمكن التعرف عليها بنقلها إلى حيوان تجارب فتكون أجساماً مضادة (AB) Antibodies .

الكشف عن فيروس التبات Detection of phytophagineae

تختلف الأعراض التي تسببها الفيروسات للنباتات التي تصاب بها اختلافاً بيناً . فهناك كثير من الأمراض يسببها فيروس واحد وذلك لاختلاف العوائل واختلاف البيئة التي ينمو فيها العائل . ولذلك لا يجوز ربط أى فيروس بمرض معين إذ أن أعراض الأمراض الفيروسية لا تكل كثيراً على الفيروس الذي يسبب تلك الأعراض فإن بعضها تكون متشابهة ولو أنها ناتجة عن الإصابة بفيروسات مختلفة .

وليس مجرد وجود الأعراض المعروفة للأمراض الفيروسية هو الدليل على وجود مرض فيروسى ولكنها تساعد في التعرف على وجود المرض الفيروسى ويجب أن تجرى تجارب على إمكان إحداث تلك الأعراض بعدوى نباتات سليمة بعيداً عن وجود مسببات أخرى غير الفيروس حيث تتشابه بعض أعراض الإصابة الفيروسية مع أعراض نقص بعض العناصر الغذائية .

وفي النباتات القابلة للإصابة فإن المظهر الشائع هو صغر حجمها وقلة محصولها ولكن هناك تغيرات واضحة في مظهر بعض أجزائها مثل الأوراق، الأزهار ، الثمار وكذلك هناك تغيرات على المجموع الجنرى . ففي الأوراق نجد التغير في اللون مثل الموزيك Mosaic ، الإصفرار والكلوروزيس Yellow & Chlorosis . كذلك يظهر على الأوراق التشوهات Deformation . وأيضاً يوجد موت للأنسجة مثل الحلقات Ring spots ، النقط الميتة Necrosis ، للنقط الموضعية Local lesions وكذلك شفافية

العروق Clearing of veins . أما مظاهر الإصابة على الأزهار فهي تكون في صورة إختزال الحجم وتشوه في الشكل وأكثرها شيوعاً هو تغير ألوان الزهرة Variegation .

أما بالنسبة للثمار فتكزن مظاهر الإصابة عبارة عن نضج مبكر وتغير في اللون والشكل والطعم والرائحة وكذلك في قوام الثمرة وحجمها . أما تغيرات المجموع الجذري فتظهر في صورة بثرات دقيقة أو ظهور نقط ميتة Necrosis .

هذا وتكون الطريقة التي يعتمد عليها قياس كمية الفيروس هي قياس التأثير كمعيار للكمية والتي تسمى بالإختبار الكمي . وتبدأ عملية الفصل عن بقايا الخلايا المصابة ثم إعادة العدوى في خلايا سليمة للحصول على تركيزات أعلى مع تكرار هذه العملية . ثم تجرى عملية تنقية وبلورة للفيروس ثم تجرى عملية فحص ميكروسكوبى وتصويره لمعرفة شكله وحجمه .

إنتقال الفيروسات Transmission of viruses

إنتقال فيروس النبات Transmission of phytophagineae

تختلف طرق ووسائل إنتشار الفيروس إختلافاً كبيراً طبقاً لصفات العائل فجدار الخلايا السيليولوزي في النباتات المزهرة جعلها لا تصلح لأن تكون وسطاً ملائماً للفيروس . ولهذا فإن إصابة الفيروس لها دائماً ما تظهر على أنها إصابة عن طريق الجروح ويدخل الفيروس النبات ويتم إنتقاله بالطرق الآتية :

١- الإنتقال الميكانيكى

ينتقل فيروس موزيك الدخان TMV من النباتات المصابة إلى النباتات السليمة نتيجة لتلف ناتج عن إجراء بعض العمليات الزراعية

كالعزيق والشتل ومرور العمال بين النباتات في المزرعة عن طريق العصير المصاب الذي يعلق بهذه الأدياء إلى النباتات السليمة المجروحة .

٢- الإنتقال عن طريق التربة

تنتقل بعض الفيروسات إلى السويقة أثناء نموها عن طريق جرح .
وتدخل الجزيئات الفيروسية إلى داخل الجذر عن طريق تمزق بعض الشعيرات الجذرية عند نمو الجذور في التربة الزراعية .

٣- الإنتقال عن طريق البذور

يتم إنتقال الفيروس عن طريق بذور النباتات المصابة في الطبيعة .
في بذور النباتات البقولية مثل موزيك فول الصويا وموزيك الفاصوليا ،
كذلك بذور الخس وبهذه الوسيلة ينتقل الفيروس من عروة إلى عروة ومن
عام إلى عام .

٤- الإنتقال عن طريق التكاثر الخضري

ينتقل الفيروس عند التكاثر الخضري للنباتات المصابة ، فكثير من
فيروسات البطاطس تنتقل خلال الدرنات . وتخزن الفيروسات التي تصيب
نباتات العائلة الزنبقية في الأبصال كفيروس موزيك البصل ، كما يعيش
الفيروس أيضاً في الثمار الجذرية مثل فيروس موزيك وإصفرار البنجر .

٥- الإنتقال بواسطة النباتات المتطفلة

يمكن للفيروسات أن تنتقل من نبات مصاب إلى نبات سليم بالمرور
خلال أنسجة النباتات المتطفلة التي تعمل بمثابة الموصل بينهما .

٦- الإنتقال بواسطة الحشرات

انتشار فيروس النبات بالحشرات يتم بطريقتين إحداهما ميكانيكية
والأخرى بيولوجية ففي الطريقة الميكانيكية يتم نقل الفيروس من النبات
المصاب إلى النبات السليم بسرعة . ويلعب المن دوراً هاماً في النقل بهذه
الطريقة مثل فيروس موزيك الكرفس عن طريق الحقن بالعصير وتسمى هذه

المجموعة بالفيروسات غير الباقية Nonpersistant viruses . أما فى الطريقة البيولوجية يدخل الفيروس المسبب فى علاقة بيولوجية مع الحشرة الناقلة وتسمى المدة التى تبدأ من تغذية الحشرة على النبات المصاب حتى تغذيتها على نبات سليم وظهور الإصابة بمدة الحضانة Latent period . ويتوقف طول هذه المدة على الصفات البيولوجية للفيروس وللحشرة الناقلة . وتسمى مجموعة الفيروسات هذه بالفيروسات الباقية Persistent viruses وتنتقل معظم هذه الفيروسات بواسطة نطاطات الأوراق Leaves hoppers .

٧- الإنتقال عن طريق النيماتودا

اكتشف حديثاً الدور الذى تلعبه النيماتودا فى نقل الفيروسات التى تعيش بصفة مستديمة بالتربة الزراعية . ومن الفيروسات الأرضية مجموعتين فقط هى التى ثبت حتى الآن إنتقال سلاطاتها بواسطة النيماتودا هما مجموعة فيروسات التبغ الحلقى Ring spot virus (RSV) مثل فيروسات الورق المروحي فى الكروم وتنتقله للنيماتودا الخنجرية ، ومجموعة فيروسات الفرقة Rattle viruses (RV) وتنتقل سلالات هذه المجموعة بالنيماتودا القاصفة *Trichodorus pachydermis* وقد أمكن التعرف على سلالتين منها أحدها من نبات *Atropa belladonna* . ويوجد أيضاً فى جذور نبات الدخان والسلالة الثانية تعرف بسلالة موزيك سيقان البطاطس Potato shoot mosaic .

طرق إنتقال فيروس الحيوان Transmission of zoophaginaea

توجد فيروسات الحيوان فى أجسام العوائل المصابة فى الجلد وإفرازات الأنف والأنسجة خاصة البول والبراز . وتوجد فيروسات كثيرة فى دم المصاب وبذلك يمكن أن تنتشر الفيروسات إلى عوائل جديدة بالإتصال المباشر Direct contact وبواسطة التنفس Inhalation وبعوائل وسيطة

بالغذاء أو بالشرب أو بالناقلات مثل البعوض والعناكب أو القمل أو البراغيث أو القراد . وهناك فيروسات مثل فيروس حمى الوادى المتصدع Rift valley virus الذى يسبب مرض Rift valley fever الذى يصيب الماشية والإنسان وينتقل عن طريق البعوض الناقل للمرض بين الإنسان والحيوان وكذلك تناول اللحوم المصابة أثناء الذبح علاوة على تناول اللبن غير المغلى جيداً بالإضافة إلى إستئثار الرذاذ المتطاير من الحيوانات المصابة . ويتأثر هذا الفيروس بالحرارة والمنظفات والأحماض .

الفصل الثالث :

الخمائر

الخمائر

The yeasts

تنتشر الخمائر فى الطبيعة إذ توجد على الفاكهة وفى مزارع العنب والمواالح ، كما يمكن عزلها من التربة الزراعية والهواء . كذلك توجد الخمائر على الأجزاء النباتية المتمزقة وفى رحيق الأزهار والمحاليل السكرية القابلة للتخمر .

الصفات العامة

وتعتبر الخمائر مجموعة كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة متجانسة فى شكلها الخارجى وهى أكبر حجماً من الخلايا البكتيرية إذ يتفاوت حجمها من ٤ - ٢٠ مرة قدر حجم الخلية البكتيرية . ونظراً لأن الخميرة هى فطر وحيد الخلية فإن معظم الخمائر يتبع صف الفطريات الأسكية Ascomycetes وقليل منها يتبع صف الفطريات الباذيدية Basidiomycetes أو الفطريات الناقصة Fungi imperfecti .

وبالرغم من إختلاف الخمائر فى الشكل والحجم إلا أنها كائنات دقيقة وحيدة الخلية unicellular microorganisms بعضها إسطوانى الشكل cylindrical أو مستطيلة elongated أو كروية coccoid . وللخميرة جدار خلوى من الكيتين وهو عبارة عن Acetylated glucose amine ويحتوى أيضاً على مواد سليوزية ولكنها تختلف عن السليوز العادى والجدار الخلوى يحيط بمحتويات الخلية وهذا الجدار عادة ما يكون رقيقاً مرناً فى الخلايا صغيرة السن ويزداد سمكاً وصلابة كلما تقدمت الخلية فى العمر . ويوجد بين بروتوبلازم الخلية وجدارها الخلوى الغشاء السيتوبلازمى cytoplasmic membrane وهو رقيق جداً لا يمكن مشاهدته إلا بطرق فحص خاصة وهو المسئول عن النفاذية الإختيارية وليس للخميرة أعضاء حركة ولا غلاف أو

طبقات مخاطية . وسيتوبلازم الخميرة عبرة عن سائل رائق غنى بالحامض النووي ويوجد به الميتوكوندريا وتكون عادة ملاصقة السنتروسوم أو الغشاء النووي وكذلك يحتوى على فجوات ونواة ومواد مخزنة مثل الجليكوجين وحبيبات الدهون والفوليوتين وغيرها من المركبات الهامة للخلية .

ومن الناحية الفسيولوجية فإن الخمائر تقتقر إلى الكلوروفيل فى تركيبها وتعتمد فى الحصول على الطاقة على مصدر نباتى أو حيوانى ولذلك فإنها تقسم إلى خمائر مترممة Saprophytic yeast وأخرى متطفلة Parasitic yeast .

كذلك يوجد السنتروزوم centrosome فى السيتوبلازم وهو جزء يصبغ بشدة بالصبغات الحامضية ومن المحتمل أنه يتكون أساساً من بروتين قاعدى ويكون ملاصقاً للغشاء النووي ويلعب دوراً أساسياً فى توجيه عملية التبرعم والتزاوج والانقسام الإختزالى لخلية الخميرة . ويوجد السنتروكروماتين centrochromatin حامضى التأثير ويتصل بالسطح الخارجى للسنتروسوم وجزء منه يلاصق النواة وهو يغطى أغلب السنتروزوم فى الخلايا الساكنة بينما يظهر كعمود طويل أثناء الانقسام .

يحتوى السيتوبلازم أيضاً على النواة ومحتوياتها وتتميز نواة خلية الخميرة بأنها كبيرة وواضحة ولها نوية واضحة أيضاً وتحتوى على الكروموزومات وهذه الكروموزومات تنشط عند التبرعم وتتجه أنصاف الكروموزومات إلى البرعم بدون تكوين المغزل التى تشاهد عند إنقسام خلايا النباتات الأرقى كما أن أنصاف الكروموزومات تتجه إلى البرعم بدون إختفاء الجدار النووى للخلية الأم . ويجب أن نشير إلى الفجوة العصارية الموجودة بالخلية التى يعتبرها Lindegren جزءاً من النواة وليست فجوة عصارية بينما بعض العلماء الآخرين يعتبرونها فجوة عصارية ولن النواة الجزء

الأمامي فقط . وكلمة الخميرة ليست كلمة علمية لها قيمة من الناحية التقسيمية حيث يلاحظ أن الخميرة مجموعة من الفطريات تتبع أقسام مختلفة وعائلات مختلفة وأجناس وأنواع عديدة . ويلاحظ أن تقسيم الخميرة مبني على أساس وجود التكاثر الجنسي أو عدم وجوده ونوعه ، نوع وشكل الجراثيم اللاجنسية، تكوين الميسليوم وذلك علاوة على عديد من الصفات الفسيولوجية والمزرعية وتتقسم الخميرة إلى خميرة مكونة للجراثيم الأسكية وخمائر غير متجرثمة .

تكاثر الخمائر Reproduction of yeasts

١ - التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction

تتكاثر الخمائر لا جنسياً Asexual reproduction وذلك بالتبرعم Budding ، إلا أن كل الخمائر الحقيقية True yeast تتميز بقدرتها على تكوين جراثيم أسكية Ascospores بمعنى أنها تتكاثر جنسياً Sexual reproduction ، وتحفظ الجراثيم الأسكية في حافظة أو زق Sac or ascus ، وعلى ذلك يطلق أحيانا على كل الخمائر الحقيقية Sac fungi . ويتبقى وضعها من الناحية التقسيمية في صف Ascomycetes ، وعلى ذلك يقسم للتكاثر الخضرى أو اللاجنسى إلى :

١- التبرعم Budding

وهي الطريقة الأكثر شيوعاً لتكاثر الخميرة خضرى . وفي هذه الطريقة يبرز جزء من البروتوبلازم من جدار الخلية Bud ويستطيل ثم يكون السنتروسوم جزء مخروطى يمتد إلى هذا البروز حتى ينفصل عن الخلية الأم Mother cell مكوناً خلية ناشئة بها نواة ناتجة من إنقسام النواة الأم إنقساماً عادياً . ثم تهاجر إحدى النواتان ومعها بعض البروتوبلازم إلى البرعم حيث ينفصل عندما يصل إلى طور البلوغ . كما قد تتبرعم الخلية النشطة في أماكن مختلفة حيث تبدو الخلايا لفترة بسيطة قبل أن تنفصل البراعم عن الخلية الأم ذات تركيب ميسليومى بسيط .

ب- الإنقسام الثنائى البسيط Binary fission

يحدث هذا النوع من الإنقسام فى أفراد قليلة من الخمائر ، وتشبه عملية الإنقسام فى أوجه كثيرة ما يحدث فى البكتيريا . وفيها تستطيل خلية الخميرة ثم تنقسم النواة إلى نواتين يذهب كل منهما إلى طرف الخلية ثم يتكون جدار عرضى يقسم الخلية إلى خليتين لكل منهما نواة وسيتوبلازم ثم تستدير كل منهما وتحاط بجدار خلوى ، ثم تتفصل الخليتين عن بعضهما . وفى بعض الأنواع يحدث هذا التكاثر بسرعة دون أن تتفصل الخلايا عن بعضها وبذلك تتكون سلسلة طويلة من الخلايا تشبه ميسليوم الفطر ولذلك يسمى بالميسليوم الكاذب Pseudomycelium . ويطلق على هذا النوع من الإنقسام بالـ Transverse fission .

ج- التجرثم Sporulation

يحدث إنتاج الجراثيم فى المزارع للقيمة لبعض الخمائر . وفيه تمثل خلية الخميرة بالمواد الحبيبية ويغلظ جدارها ثم تدخل فى طور من السكون الظاهرى مكونة ما يسمى بالجراثيم الكلاميدية . هذه الجراثيم تكون أكثر مقاومة للجفاف من الخلايا الخضرية ، تثبت تحت الظروف البيئية المناسبة مكونة خلايا خضرية جديدة . وتعتبر هذه العملية وسيلة لحفظ النوع فقط أى أنها تعتبر وسيلة حفظ بدون تكاثر حيث تنتج كل جرثومة Asexual spore خلية خضرية واحدة One vegetative cell . هذا ويلاحظ أن بعض أنواع الخمائر التى تكون ميسليوم كاذب تكون جراثيم كلاميدية فى سلاسل إما فى نهاية الهيف أو فى وسط سلسلة الخلايا . وبعض الأنواع تكون جراثيم لا جنسية Asexual spores تسمى Blastospores وهى عبارة عن وحدات كروية أو بيضاوية تتكون على الهيف التى تكون سلسلة من البراعم . كذلك يوجد أنواع من الخمائر تكون جراثيم تسمى Arthrospores حيث تنتج عن تكسير الميسليوم إلى جراثيم إسطوانية الشكل .

٢- التكاثر الجنسي Sexual reproduction

ويتم التكاثر الجنسي في الخمائر الحقيقية بأن تقترب خليتين من بعضهما ثم تكون كل خلية نتوء صغير ، لا يلبث هذين النتوءين أن يتحدا ثم تندمج النواتان ليتكون الزيجوت zygote . يلي ذلك إنقسام في نواة الزيجوت المندمجة fused nuclei وتتكون الجراثيم الأسكية كما في *Schizosaccharomyce odosporus* وهذه الجراثيم تختلف من حيث الشكل واللون ودرجة نعومة الجدار الجرثومي . أما الخمائر الكاذبة False yeasts والتي لا تكون جراثيم جنسية تعتبر ضمن مجموعة الفطريات الناقصة fungi imperfecti . والتكاثر الجنسي في الخمائر يتم بتكوين الجراثيم الزقية وتنقسم الخمائر المكونة للجراثيم الزقية إلى نوعين كالآتي :

أ- خلايا أحادية الكروموسومات Haploid

وفي هذا النوع تكون خلية الخميرة الخضرية من النوع الأحادي الكروموسومات (1N) ويتم التزاوج بين خليتين من هذا النوع ليكون الكيس الأسكي وتتدمج بين نواة ثنائية الكروموسومات (2N) التي تنقسم نواتها عدة إنقسامات لتكون عدة أنوية ثنائية الكروموسومات يحيط كل منها بجزء من السيتوبلازم وجدار لتكون جراثيم أسكية ثنائية الكروموسومات ثم ينفجر الكيس الأسكي وتخرج الجراثيم وعند إنباتها في الظروف الملائمة تنقسم نواة الجرثومة الثنائية . مثل هذا النوع من التكاثر الجنسي يحدث في خمائر *Schizosaccharomyces* و *Zygosaccharomyces* .

ب- خلايا ثنائية الكروموسومات Diploid

في هذا النوع تكون الخلايا الخضرية أصلاً ثنائية الكروموسومات وعند حدوث التجزئ فإن الخلية تفقد قدرتها على التبرعم وتستدير لتكون الكيس الأسكي وتنقسم النواة عدة إنقسامات أولها إختزالي وبذلك تتكون عدة

خلايا أحادية الكروموزومات Haploid يحيط كل منها بجزء من السيتوبلازم وجدار وعند انفجار الكيس الأسكى تخرج الجراثيم الأسكية التى تثبت عند تحسن الظروف . تثبت الجراثيم التى تكون الخلايا الخضرية ثنائية بتزاوج جرثومتين من النوع الأحادى الكروموزومات لتكون خلية خضرية ثنائية الكروموزومات . يحدث مثل هذا النوع فى خمائر *Saccharomyces* ، وعلى ذلك يعتبر تكوين الجراثيم الجنسية فى الخمائر وسيلة من وسائل التكاثر بعكس تكوين الجراثيم اللاجنسية الذى يعتبر وسيلة لبقاء النوع فقط .

نمو الخمائر Yeast growth

تكون الخمائر ذات القيمة الإقتصادية على المنابت الصلبة Solid media مستعمرات تشبه إلى حد كبير مستعمرات البكتيريا . أما فى حالة البيئات السائلة فتكون صوراً مختلفة للنمو ما يلى :

أ- خمائر غشائية Film forming yeast

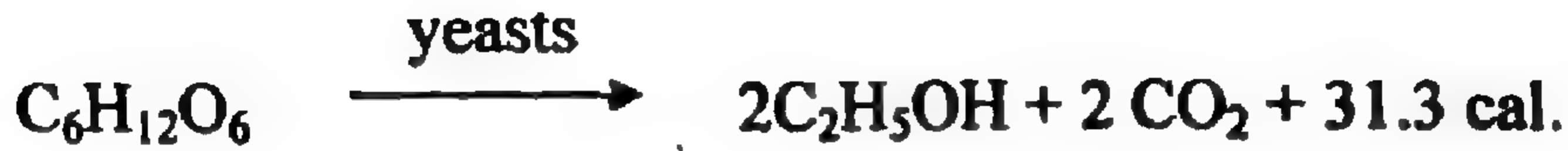
وهذه الخمائر تنمو على سطح البيئة الغذائية السائلة مكونة غشاء يبقى عادة حتى ينكسر ويسقط بتأثير ثقله إلى القاع وتقوم هذه الخمائر بأكسدة الأحماض العضوية والكحولات والسكريات .

ب- خمائر قمية Top yeast

وهى التى تتجمع خلاياها فى نظام كتل clumps لا تثبت أن تطفو فوق سطح البيئة الغذائية السائلة بواسطة الغاز المتكـين نتيجة نشاطها والمحصور بين كتل الخلايا . ومن الخمائر التابعة لهذا النوع هى الخمائر المستخدمة فى إنتاج البيرة المسماة Ale beer وكذلك خميرة الخباز أى أنها خمائر قادرة على التخمر الكحولى .

ج- خمائر قاعية Bottom yeast

وهي التي تبقى خلاياها منفصلة تماماً عن بعضها فلا تتجمع ثم ترسب وتستقر في قاع البيئة الغذائية السائلة المتخمرة . وتقوم الخمائر القمية والخمائر القاعية بتخمير المواد السكرية منتجة ثاني أكسيد الكربون والكحول . ومن هذه الخمائر ما يستخدم في صناعة البيرة المسماة lager beer



ولكي تنمو الخمائر نمواً مناسباً يجب توفر بعض الشروط البيئية والغذائية كما يلي :

١- الرطوبة

معظم الخمائر تكون عالقة بالأغذية ولذلك تنمو جيداً في وجود نسبة عالية من الرطوبة . ولو أن بعضها تنمو في وجود تراكيزات مرتفعة من المواد المذابة مثل السكر والملح حيث أنها تتحمل تراكيزات أعلى مما تتحمله البكتيريا . حيث تكون أقل نسبة رطوبة تلزم نشاط الخميرة العادية تتراوح بين ٠,٨٨ - ٠,٩٤ ، بينما بالنسبة للخميرة الإسموفيلية osmophilic yeast تتراوح هذه النسبة بين ٠,٦٢ - ٠,٦٥ .

٢- الحرارة

تعتبر درجة الحرارة المثلى للملائمة لنمو الخميرة هي بين ٢٥ - ٣٠ م° ، ولكن لبعض الأنواع القدرة على النمو على درجة حرارة الصفر المئوي أو ما يقترب منه .

٣- درجة الـpH

معظم الخمائر يناسبها درجة الـpH من ٤ - ٤,٥ تقريباً لكي تنمو النمو الأمثل .

٤- التهوية

تنمو الخمائر جيداً تحت الظروف الهوائية واللاهوائية ، ولكن هناك أنواع يمكنها النمو بدرجة أقل تحت الظروف اللاهوائية محدثة التخمر .

٥- مصدر الطاقة

تعتبر السكريات أفضل مصدر للطاقة ولو أن الخمائر المؤكسدة قد تستهلك الأحماض العضوية والكحول . وثاني أكسيد الكربون الناتج من الخميرة يعتبر الناتج الأساسي في صناعة الخمر والبيرة ، وتحتاج الخميرة للنيتروجين إما على هيئة مواد بسيطة أو مركبات عضوية معقدة بجانب بعض العوامل المساعدة والأملاح المعدنية والفيتامينات.

الخمائر الإقتصادية

من أهم الخمائر الإقتصادية في حياة الإنسان ما يستعمل في إنتاج المشروبات الكحولية وفي إنتاج الخل والخبز ونوع من الجبن وكذلك إنتاج الإنزيمات والفيتامينات . بالإضافة إلى ذلك أن الخمائر تستهلك نفسها كمادة غذائية ومقوية . في نفس الوقت قد تسبب فساد المخللات مثل الكرنب وفساد عصائر الفاكهة والشراب والمولاس والعسل والجيلي واللحوم والأنبذة Wines والبيرة وكثير من المواد الغذائية الأخرى ومن أجناس الخمائر الإقتصادية الآتية :

أولاً : الخمائر الحقيقية True yeast

جنس *Schizosaccharomyces*

يقوم هذا الجنس بتكوين من أربعة إلى ثمانية جراثيم داخل الكيس الأسكى ، وهى توجد على الفاكهة والمولاس والتربة الزراعية والعسل .

جنس *Saccharomyces*

الخلايا إما مستديرة أو بيضاوية ، وبعضها قد تكون ميسليوم كاذب pseudomycelium . التكاثر إما بالتبرعم الطرفى أو بواسطة تكوين جراثيم أسكية والأخيرة تكون كل أربعة منها داخل كيس أسكى . وأهم نوع هو *Saccharomyces cerevisiae* والذي يستعمل فى كثير من الصناعات الغذائية مثل صناعة الخبز لرفع العجين عن طريق ثانى أكسيد الكربون الناتج خلال عملية التخمير . والخمائر السطحية تستعمل فى صناعة البيرة المعروفة بالآيل Ale وفى الأنبيذة وفى إنتاج الكحول الصناعى والجليسرول وإنزيم الإنفرتيز invertase . تتوسع خلايا الخمائر السطحية top yeast خلال نموها وينحصر بين هذه الخلايا غاز ثانى أكسيد الكربون فتطفو هذه الخلايا على سطح السائل المتخمّر ، أما الخمائر القاعية bottom yeasts فلا تتجمع ، ولكن بعض فترة من النمو والنشاط تغطس إلى القاع مثل *S. carlsbergensis* و *S. cervisiae* var. ellipsoids ، من السلالات المكونة للكحول بنسبة عالية ولذلك تستعمل أساساً فى إنتاج الكحول الصناعى والأنبيذة والمشروبات المقطرة ، *S. carlsbergensis* وهى خميرة قاعية تستعمل فى صناعة البيرة المعروفة باسم Lager والنوعين *S. laclis* و *S. fragilis* لهما القدرة على تخمير اللاكتوز فتعتبر مهمة بالنسبة للصناعات اللبنية ومنتجات الألبان Dairy products .

جنس *Zygosaccharomyces*

ولهذا الجنس القدرة على النمو في تركيزات عالية من السكر حيث يعتبر من Osmophilic yeast ، وبالتالي تسبب فساد العسل والشراب المركز والمولاس وفي تخمرات صلصة فول الصويا وبعض الأنبذة wines وتنمو *Z. nussbaumeri* في العسل وتسبب فساد .

جنس *Pichia*

وهذه الخمائر إما أن تكون بيضاوية أو إسطوانية ولها القدرة على تكوين ميسليوم كاذب . والجراثيم الأسكية إما مستديرة أو على هيئة قبة وعددها من ١ - ٤ في الكيس الأسكي الواحد . وبعضها يكون أغشية على المشروبات الكحولية مثل *P. membrane faciens* ولذلك تسبب فساد البيرة والأنبذة .

جنس *Hansenula*

جراثيمها على هيئة قبة متشابهة في مظهرها تنمو على التركيزات العالية من الكحول وتسبب أكسدته .

جنس *Debarymyces*

وهذه تكون الأغشية على السوائل الملحية المستعملة في تمليح اللحوم وتنمو على المخلات وتسبب فسادها .

ثانياً : الخمائر الكاذبة False yeast

تشمل الخمائر الكاذبة وغير الحقيقية الأنواع الآتية :

١- خميرة الغذاء Food yeast مثل *Cryptococcus utilis*

٢- خميرة اللاكتوز *Cryptococcus kefir*

٣- وهذه الخمائر لها المقدرة على تكوين غشاء *Candida myderma* على سطح المواد الغذائية . كذلك فإنها تنمو في الوسط الحامضي مثل البيرة والمخللات والكرنب المخلل خصيصاً saurkraut وعندما تستخدم الحمض

فإنها توفر وسط أكثر ملائمة لنمو أنواع أخرى من الميكروبات التي تعمل على فساد الغذاء .

٤- وهذه تستخدم في تحضير بادئات الجبن *Candida krusei* السويسري مع بكتيريا *Lactobacillus bulgaricus* حيث تعمل الخميرة على تهيئة الظروف البيئية المحيطة بالبكتيريا حتى يصبح الوسط *Microaerophiles* وبذلك تستطيع *L. bulgaricus* من إنتاج متمائل لحمض اللاكتيك *Homofermentative* .

٥- *Rhodotorula glutinus* وهذه الخميرة تستطيع إنتاج صبغة قرمزية اللون وهي غير مرغوبة عند تحضير sauerkraut ولذلك إذا نمت هذه الخميرة فيسمى بالكرنب القرمزي Pink kraut حيث تفرز الصبغة خارج وتسبب تلون ماء المخلل .

أنواع الخميرة Yeast

والخمائر هي فطريات تتبع عائلات مختلفة وهي تتكاثر بالتبرعم أو بالإنقسام الثنائي البسيط أو بالتجراثيم في الأنواع التابعة للـ *Ascomycetes* وأهمها ما يتبع جنس *Saccharomyces* ويشمل أنواع عديدة منها *S. cerevisiae* التي تستعمل صناعياً في تخمير الخبز وفي إنتاج الكحول والجليسرول . وتوجد أنواع أخرى من الخميرة الكاذبة تسمى False yeast التي منها الجنس *Torulopsis* وهي تحدث تخمرات غير مرغوبة فيها ولكنها تستعمل صناعياً في بعض الأغراض الطبية كما أن بعضها يستعمل كغذاء أدنى وبعضها يضاف لعليقة الحيوان .

تعمل الخميرة على رفع الخبز فتجعل العجين يرتفع وتعطي له قواماً خفيفاً . والخميرة نبات حي يتغذى على السكر الموجود في العجين وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يجعل العجائن تعلو ويزيد حجمها كما أنها

تعطى الخبز النكهة اللذيذة والشذى المميز . وخلال تسوية العجين فى درجة الحرارة المرتفعة يتبخر الكحول الموجود بالعجين ، كذلك تعمل الحرارة على تمدد فقاعات غاز ثانى أكسيد الكربون مما يؤدي إلى إرتفاع الخبز مع زيادة حجم رغيف الخبز مما يجعله هشاً ومقبول الشكل مستساغ الطعم .

وتوجد عدة أنواع من الخميرة تنتجها الشركات المختلفة وتشمل الأنواع التالية :

١ - الخميرة النشطة الطازجة Fresh active yeast

وهى تحضر وتباع على الصورة المضغوطة Compressed yeast فى عبوات موجودة بالأقسام المبردة فى الأسواق و السوبر ماركت والخميرة المضغوطة تكون تقريباً عديمة الرائحة أو ذات رائحة بها لمسة من رائحة الفاكهة ، متماسكة ذات قوام بلاستيك لونها كريمى وتذوب بسهولة فى الماء دون تكون كتلات . والرائحة الحامضية غير المرغوبة والقوام اللزج sticky texture والسطح البنى يعتبر علامات تدل على أن الخميرة تموت أو ماتت فعلاً ولإختبار ما إذا كانت الخميرة المضغوطة ما زالت حية تفرك فإذا فركت بسهولة فإنها تكون حية . هذا ويجب أن تحفظ الخميرة بالتلاجة ودرجات الحرارة المثلى لتخزين الخميرة هى من ٤ - ٦ °م ويجب أن تحفظ فى العبوة الأصلية أو تلف فى ورق الألومنيوم أو أغشية بلاستيكية ملونة coloured film أو ورق معامل بالشمع waxed paper لحمايتها من الضوء، وتحت هذه الظروف فإنها تحفظ لعدة أسابيع ، ولكن من الأفضل شراء كميات أصغر حتى يكون التخزين الطويل غير ضار . ويمكن حفظ الخميرة المضغوطة بالتجميد freezing لعدة أشهر . ويفضل تجميد الخميرة فى كميات صغيرة تكفى لعمل خبزة واحدة ويجب أن تفكك defrost لمدة ١٢

ساعة في الثلاجة قبل الإستخدام . وتموت الخميرة في درجات حرارة أعلى من ٥٠ °م وتركيز الملح العالي أيضا يحطم الخميرة .

١- الخميرة الجافة Dried yeast

تحفظ الخميرة الجافة لعدة أشهر إذا خزنت في عبوة محكمة القفل خالية من الرطوبة في مكان بارد جاف . ومن المهم أن تكون درجة حرارة الماء مناسبة فإذا كانت عالية جداً أو منخفضة جداً فإن الخميرة تكون معرضة لفقد معظم قوتها في التخمير . والخميرة الجافة قد تكون خميرة جافة نشطة عادية Active dry yeast أو خميرة سريعة المفعول Rapid rise yeast .

أ- الخميرة الجافة النشطة العادية Active dry yeast

وهذه تذاب في السائل (الطريقة العادية) أو تخلط مع جزء من المكونات الجافة (الخلطة السريعة Rapid mix) وهي متواجدة في عبوات من البلاستيك المحكم الغير منفذ للهواء أو الرطوبة . كل من الخميرة الجافة النشطة العادية أو الخميرة المضغوطة يمكن استبدال بعضهم البعض وكل ٢,٥ ملعقة شاي من الخميرة الجافة يمكن استبدالها بقطعة من خميرة مضغوطة زنة ١٧ جم .

ب- الخميرة الجافة سريعة المفعول Rapid rise yeast

هي سلالة من الخميرة الجافة عالية وسريعة النشاط حيث تقوم بعملية تخمير معبأة في نصف الوقت اللازم مقارنة بسلالات أخرى . وهذه الخميرة تكون معبأة في عبوات بلاستيكية مثلها في ذلك مثل الجافة النشطة المعروفة للجميع .

إنتاج الخميرة Yeast production

١- خميرة المولاس Molasses yeast

يستخدم مولاس سكر القصب sugar cane molasses أو مولاس سكر البنجر sugar beet molasses لتنمية الخميرة كمخلفات رخيصة الثمن تحتوي

على سكريات تتراوح بين ٥٣ - ٥٧ % سكريات . حيث يستخدم في تخفيفات مناسبة لتنمية الخميرة . بعد ذلك تؤخذ الخميرة بغرض التجفيف للاستخدام الآلى أو لإنتاج خمائر علف . وهذه الخميرة تحتوى على بروتين بنسبة لا تقل عن ٣٥ % ولا تزيد نسبة الرطوبة عن ١٠ % ونسبة الرماد لا تزيد عن ٨ %

٢ - خميرة البيرة الجافة Dried brewer's yeast

هى عبارة عن الجزء المتبقى بعد ترشيح السائل أثناء صناعة البيرة بعد تجفيفه بحيث لا يحتوى على خلايا حية . وهذه الخلايا لا تقل نسبة البروتين الخام عن ٤٠ % ، ولا تزيد نسبة الرطوبة عن ٨ % وهى تنتمى لجنس *Saccharomyces* .

أهمية الخميرة Importance of yeast

للخميرة أهمية كبيرة من النواحي الغذائية والطبية والصناعية . فالخميرة تستخدم بكثرة وبصفة أساسية فى عملية تخمير العجين حيث يؤدى الغاز المتكون من عملية تخمير السكريات فى العجين إلى حدوث الإنتفاخ المرغوب فيه . وأن عملية التخمير تحدث تغيراً فى بروتين العجين لتعطيه المطاطية وتعطى للخبز الناتج قواماً مرغوباً فيه ، علاوة على الطعم المستساغ الخاص بالخبز .

كما تستخدم الخميرة فى إنتاج الكحول من المواد السكرية وإنتاج النبيذ والمشروبات الكحولية المختلفة . كما تستخدم الخميرة كمصدر الفيتامينات وهناك خمائر تستخدم الآن بكثرة كمصدر للبروتين كإضافات فى علائق الحيوان . علاوة على أنها ترش فى صورة محاليل على نباتات الخضر وتوضع أيضاً فى منطقة جذور نباتات الفاكهة .

الفصل الرابع :

الفطريات

الفطريات

The Fungi

تقع الفطريات ضمن الكائنات الحية الدقيقة ذات الخلية حقيقية النواة Eukaryotic cell وثالوثها الفطري Thallus لا يحتوى على جذور ولا سيقان ولا أوراق ، وهذه الكائنات تتباين فى حجمها وطبيعة معيشتها وطرق تكاثرها وهى تشبه الطحالب من ناحية تركيبها الجسدى ، فهى إما أن تكون وحيدة الخلية unicellular أو خيطية Filamentous وقد تتشابك خيوطها لتكوين تراكيب خلوية ، ولكنها تختلف عن الطحالب إختلافاً جوهرياً من حيث خلو غزلها الفطري fungal mycelium من مادة الكلوروفيل والبلاستيدات الخضراء ، ولذلك فهى من الكائنات غير ذاتية التغذية Heterotrophes أى أنها لا تستطيع أن تعيش كالطحالب معتمدة على نفسها لإستيفاء إحتياجاتها الغذائية . من هذه الفطريات ما تستوفى تلك الإحتياجات من مصادر حية وتعرف بالفطريات المتطفلة Parasitic fungi أو من مصادر عضوية ميتة وتعرف بالفطريات المترمة Saprothitic fungi وهى تحصل على غذائها بطريقة الإمتصاص وتستخدم المواد الكربوهيدائية لتأمين إحتياجاتها من الطاقة ، كما تستخدم بعض الأنواع الفطرية الأخرى الدهون والبروتينات والكحولات والأحماض الدهنية لهذا الغرض .

وتتكون الفطريات إما من أجسام وحيدة الخلية مثل الخميرة Yeast أو من خيوط دقيقة مجهرية الحجم تعرف بالخيوط الفطرية Hypha قد تكون مقسمة إلى خلايا ، أو غير مقسمة ، وهذه الخيوط أو الهيفات تنمو وتتفرع وتتشابك معاً لتكون الميسليوم Mycellium الذى يطلق عليه الغزل الفطري وهو الذى يكون جسم الفطر ، ويتراوح طول الغزل الفطري ما بين عدد قليل

من الميكرونات إلى عدة أمتار في الطول . أما الهيفا فهي تتراوح ما بين ٥ - ١٠٠ ميكرون (الميكرون هو وحدة قياس = ١/١٠٠٠ من المليمتر). وعادة ما تكون الهيفات الفطرية عديمة اللون ، ولكنها في بعض الفطريات تتخذ عدة ألوان مختلفة وهذا راجع إلى طبيعة المواد الغذائية المخزنة ، أو إلى وجود بعض الأصباغ المختلفة . ولقد بينت الدراسات السيتولوجية أن كل هيفا فطرية تتكون من جدار خارجي رقيق وتجويف داخلي ممتلئ بالبروتوبلازم ، وفي بعض الفطريات الحقيقية يكون بروتوبلازم الهيفا الفطرية مستمرا ، وفي البعض الآخر تنقسم الهيفا إلى عدد من الخلايا الفطرية تفصلها حواجز عرضية تسمى Septa (المفرد Septum) هذه الخلايا إما أن تكون وحيدة النواة أو ثنائية أو عديدة الأنوية . والحواجز الموجودة بين الخلايا لها فتحة صغيرة مركزية تسمح بإتصال البروتوبلازم بين خلية وأخرى . وفي الفطريات الحقيقية التي لا يوجد في هيفاتها حواجز عرضية يطلق عليها هيفات غير مقسمة أو مدمج خلوي (Coenocytic (Nonseptate في داخلها قليل من الأنوية كما هو الحال في الفطريات الطحلبية .

و تمثل الفطريات مجموعة كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة واسعة الانتشار حيث تضم وفقاً لإحدى الإحصائيات الحديثة أكثر من ١٠٠ ألف نوع ، ويزداد هذا الرقم باستمرار . وتوجد في كل مكان تتوافر فيه الرطوبة والمواد العضوية ، وهي تنمو بغزارة في الظلام والضوء الضعيف ، وخاصة في البيئات الرطبة ، وتوجد في المناطق الحارة والمعتدلة والباردة ، وكذلك فهي منتشرة في التربة الزراعية وفي الهواء ، وتعيش قلة منها في مياه البحار والأنهار والبرك ، ويمكن القول أنه لا تكاد توجد حواجز جغرافية تقف أمام توزيعها .

التركيب :

ويشكل الماء نسبة كبيرة من الخلية الفطرية إذ تبلغ نسبته حوالى ٩٨% من وزن الفطريات الهلامية للزجة وقد تنقص هذه الكمية إلى ٨٠ : ٩٠ % فى الفطريات التى لها أجسام ثمرية متحجرة ، وتتفاوت نسبة وجود العناصر المختلفة الأخرى فى الخلية الفطرية ، إذ أنه عند تحليل الرماد المتخلف بعد الثالوس الفطرى تبين وجود عناصر الكربون والنيتروجين والإيدروجين والأكسجين والكبريت والفوسفور والبوتاسيوم والماغسيوم والحديد . وتوجد هذه العناصر فى جميع الفطريات حيث تدخل فى تركيب البروتينات .

تشبه خلايا الفطريات ما عدا الفطريات الهلامية خلايا النباتات من حيث المظهر العام ، ولكل خلية جدار صلب ، إلا أن التركيب الكيميائى لجدار الخلية الفطرية ليس متشابهاً فى جميع الفطريات حيث يكون السليلوز فى بعض الأنواع المكون الرئيسى لجدار الخلية ، وفى معظم أنواع الفطريات ، وخاصة الطرز الأرقى ، فإن جدار الخلية يتكون بالدرجة الرئيسية من مادة الكيتين جلوكان Chitin-Glucan تشبه الكيتين الذى يغطى جسم الحشرات والتى هى عبارة عن بوليمر ، وحداته هى أستيل جلوكوز أمين (AGA) ويسمى بالسليلوز الفطرى . ولقد أظهرت الدراسات الدقيقة بواسطة المجهر الإلكتروني أن مادة الجدار الخلوى تتكون من طبقة واحدة أو عدة طبقات من ألياف دقيقة Microfibers تكون مطمورة داخل المادة الأساسية .

ويحتوى سيتوبلازم الخلية الفطرية على أجزاء صغيرة تسمى ميتوكوندريات Mitochondria وهى تشبه إلى حد كبير نظرائها التى توجد فى النباتات الخضراء . ولها أهمية كبيرة فى عملية النشاط الحيوى المتعلقة بالبناء والهدم . ويختلف شكل الميتوكوندريات تبعاً لأنواع الفطر وأطواره المختلفة خلال دورة حياته . كما يتأثر ذلك أيضاً بالمؤثرات الخارجية والظروف البيئية التى

يعيش فيها الفطر . كذلك توجد الفجوات والجليكوجين والفطرات الزيتية ومواد أخرى بصورة اعتيادية في السيتوبلازم أما حبيبات النشا فلا توجد على الإطلاق في الفطريات إذ يحل محله الجليكوجين Glycogen . وتوجد الدهون والأحماض العضوية بشكل واضح في الخلايا الفطرية ولكن كمياتها قليلة تصل إلى من ١ : ٢ % من الوزن الجاف للأجسام الحجرية . كذلك يشاهد في أغلب الفطريات مادة الفوليوتين Volutine وهي حبيبات غير كبيرة موزعة في البروتوبلازم وهي تتركب من أحماض نووية متحدة مع الفوسفات ومواد عضوية أخرى .

وتكون النواة واضحة في خلايا الفطريات ومركبة تركيباً منظماً كما في النباتات الراقية . وفي الفطريات التي تكون خيوطها هيفات غير مقسمة بحواجز عرضية تكون الأنوية منتشرة بصورة متجانسة خلال السيتوبلازم ، أما كل خلية من خلايا الخيوط المقسمة بحواجز عرضية فيحتوى على نواة واحدة أو نواتين أو أكثر . وذلك حسب نوع الفطر والطور الذي يمر به ، خلال دورة حياته ، وتوجد حالات تكون فيها الخلية الفطرية محتوية على عدد كبير من الأنوية كما في حالة الفطر نيوروسبورا كراسا *Neurospora crassa* الذي يصل عدد الأنوية فيه إلى حوالى المائة في الخلية الواحدة وحجم النواة الفطرية دقيق إذ يتراوح قطرها عادة بين ١ إلى ٣ ميكرون وشكلها عادة كروى ومحاطة بغشاء نووى ومزيج توجد به تقوُب تعمل كممرات لتبادل المواد الغذائية ، وغيرها بين النواة والسيتوبلازم . وخاصية وجود غشاء نووى محدد في الفطريات يمثل أحد الفروق المهمة التي تميز الفطريات عن الأكتينوميستات المعروفة باسم الفطريات الشعاعية .

وبفضل المجهر الإلكتروني أمكن تمييز النوية Nucleolus والكروموسومات داخل النواة ، ورغم صغر حجم الكروموسومات في الخلايا الفطرية فقد أمكن تحديد عددها في بعض الفطريات ، ولكن كثيراً ما تكون هذه

الكروموسومات الصغيرة فى حالة متجمعة مما يصعب معه تمييز رؤيتها بوضوح وإجراء عدها بدقة .

ونظراً لإختلاف الطحالب عن الفطريات إختلافاً جوهرياً من حيث خلوها من البلاستيدات الخضراء وصبغ الأنثوسيانين Anthocyanin فإن لون الفطريات تسببه بعض الأصباغ ذات الطبيعة الكيماوية المختلفة ، وهذه الأصباغ تكون موجودة فى الأغلفة الخلوية ، أو فى البروتوبلازم أو فى الفجوات ولكن ليس لها أى دور وظيفى أو فسيولوجى فى حياة الخلية . إذ إنها تمثل فقط إحدى النواتج الإيضوية الخلوية وقد تفرز خلايا الفطر هذه الأصباغ إلى الخارج فتلون الوسط الذى ينمو عليه الفطر بألوان مميزة مثل تلك التى تكون فى الأوساط الغذائية لفطريات البنسليوم والأسبرجيلس وأكثر هذه الأصباغ عبارة عن أصباغ عضوية مختلفة .

التغذية :

لما كانت الفطريات خالية تماماً من البلاستيدات الخضراء ، فإنها تعجز عن أن تعيش بذاتها بل لابد لها من الإعتماد على غيرها من الكائنات الحية الأخرى أو المواد العضوية الميتة لإستيفاء إحتياجاتها من المواد الغذائية لاسيما المواد الكربوهيدراتية . ولذلك فهى مضطرة للحصول عليها من الكائنات الحية أو المواد الميتة أى أنها تعتبر من الكائنات غير ذاتية التغذية ، فالفطريات التى تعيش على غيرها من أحياء سواء إنسان أو حيوان أو نبات تعرف بالمتطفلة Parasites ، أما التى تعيش على بقايا عضوية أو مخلفات حيوانية ، أو نباتية فتعرف بالمترممة Saprophytes ، والتى تنتهج معيشة تكافلية ، أى تبادل منفعة مع غيرها من الكائنات تسمى بالفطريات المتكافلة Symbiotic fungi وتستطيع بعض الفطريات التى تكون عادة طفيلية أن تعيش أيضاً معيشة رمية فى غياب عائلها ، كما أن بعض الفطريات المترممة يمكنها أيضاً أن تلجأ إلى

التطفل على الكائنات الحية ، خلال طور من أطوار حياتها ، أو تحت ظروف معيشية أخرى .

التكاثر Reproduction

تستطيع الفطريات أن تتكاثر بطرق مختلفة منها التكاثر اللاجنسى Asexual reproduction والذي يسمى أحياناً بالتكاثر الجسدى Somatic أو الخضري Vegetative ولا يدخل فيه إتحاد بين أنوية أو خلايا أو أعضاء . أما التكاثر الجنسي Sexual reproductive فيتميز بوجود إتحاد بين نواتين جنسيتين . ويمكن إستعراض طرق التكاثر باختصار كالآتي :

التكاثر اللاجنسى Asexual reproduction

تتكاثر الفطريات لا جنسياً بواسطة خلايا مختلفة الأشكال والأحجام تنتج أفراد جديدة دون إتحاد بين أنوية أو خلايا أو أعضاء نكرية واثوية وبعد هذا النوع من التكاثر أكثر شيوعاً من التكاثر الجنسي وبخاصة أن دورة حياة الفطر اللاجنسية تتكرر غالباً أكثر من مرة خلال موسم نمو الفطر ، بينما يظهر الطور الجنسي في كثير من الفطريات مرة واحدة فقط في نهاية دورة الحياة . ومن طرق التكاثر اللاجنسى الشائعة في الفطريات الآتي :

١- التكاثر الخضري Vegetative reproduction

يعتبر تفتت وتجزؤ الهيفات fragmentation وإنفصالها من الطرق المألوفة لتكاثر الفطريات ، بحيث إذا تفتت الخيط الفطري لعدة وحدات تكون كل وحدة محتوية على خلية سليمة أو أكثر فإن هذه الأجزاء الفطرية تستطيع أن تعطى غزلاً فطرياً إذا هيات لها الظروف الغذائية المناسبة والظروف البيئية المواتية وفي أغلب الأحيان تستخدم خاصية تفتت الغزل الفطري في المعمل للمحافظة على نمو المزارع الفطرية على اللبائن الصناعية ، وذلك بنقل قطع صغيرة من الغزل الفطري إلى منابت حديثة لبدء مستعمرة جديدة .

٢- الإنشطار المستعرض Transverse fission

ويحدث هذا النوع من التكاثر غالباً في الفطريات وحيدة الخلية مثل الخميرة وهو يشبه ما يحدث في الخلايا البكتيرية وفيه تأخذ كل خلية في الإستطالة ثم تنقسم نواتها إلى نواتين ثم يتخصر وسط الخلية حتى تنفصل إلى خليتين كل خلية تحتوى على نواة واحدة .

٣- التبرعم Budding

يبدأ بظهور بروز خارجي من الخلية الأم يسمى برعم Bud وتنقسم نواة الخلية الأم أثناء تكوين البرعم وتنقل إحدى النواتين البنويتين إليه ويأخذ حجم البرعم في الإزدياد وهو مازال متصلاً بالخلية الأم ولا يلبث أن ينفصل عنها مكوناً فرداً جديداً . وقد تنتج في بعض الأحيان سلسلة من البراعم لتكوين غزلاً فطرياً قصيراً ويحدث التبرعم في الخميرة وبعض فطريات التفحم .

٤- تكوين وحدات خاصة Special units formation

تستطيع كل وحدة لا جنسية تحت الظروف المناسبة أن تعطى غزلاً فطرياً جديداً وهذه الوحدات اللاجنسية ما هي إلا بمثابة طرز نمو بمعنى أنها ليست مهيئة للصمود ضد الظروف الصعبة ، ولكنها تعد بمثابة وحدات لسرعة إنتشار الفطر أثناء الظروف المواتية . وبعض هذه الوحدات اللاجنسية ما هي إلا أجزاء مهيئة داخليا وفسولوجياً للصمود ضد الظروف غير الملائمة ومن أمثلة الوحدات اللاجنسية التي تعد بمثابة طرز نمو أكثر منها جراثيم حقيقية الأويدات Oidia (مفردها Oidium) أو الجراثيم المفصلية Arthrospores حيث تتكون بالتخصر الجزئي بين الخلايا لكنها تحتفظ كل وحدة بكافة خواصها الأصلية وتنتشر مثل هذه الطريقة بين بعض الفطريات المتطفلة لكي تستطيع أن تنتشر أثناء وجود العائل وتوفر الظروف البيئية المواتية .

٥- الأجسام الحجرية Sclerotia

بعض الفطريات الحقيقية وخاصة الفطريات الزقية تتجمع فيها الهيفات الفطرية لتكوين جسم صلب محكم يسمى الجسم الحجرى Sclerotium وتمتلئ خلاياه بالمواد الغذائية وهذه الأجسام ما هي إلا تركيبات كامنة أو ساكنة تمكن الفطر من تحمل الظروف غير الملائمة وعند تحسن الظروف البيئية والغذائية فإن تلك الأجسام الحجرية تثبت معطية وسادة أو أكثر Stroma (الجمع Stromata) .

٦- جراثيم كلاميدية Chlamydospores

فى بعض الفطريات الحقيقية تغلف الخلايا بجدار سميك قبل الانفصال عن بعضها البعض مع تخزين مواد غذائية فتسمى عندئذ بالجرثومة الكلاميدية وهي إما أن تكون مفردة أو فى سلاسل وأحياناً تكون طرفية أو بينية وتعمل كجراثيم كامنة أو ساكنة وتستطيع بذلك مقاومة المؤثرات المناخية غير الملائمة وعندما تنهى لها الظروف البيئية والغذائية فإنها تثبت معطية ميسليوم جديد .

الجراثيم Spores

تعد الجراثيم أكثر طرق النكاثر اللاجنسى شيوعاً بين الفطريات وتتفاوت فى اللون والشكل والحجم وعدد الخلايا فقد تكون شفافة أو غامقة اللون ويعتبر الميكرون هو الوحدة المعيارية فى قياس الجراثيم وذلك لدقتها ويختلف طول وقطر الجرثومة من ميكرون واحد أو أقل إلى ملليمتر واحد أو أكثر قليلاً وهي توجد إما منفردة أو على صورة تجمعات .

وتنقسم الجراثيم حسب الكيفية التى تحمل بها وطرق تكوينها إلى مجموعتين:

(أ) الجراثيم السابحة Zoospores

وتتكون داخل حافظة يطلق عليها zoosporangium وتظهر هذه الجراثيم فى دورة حياة كثير من الفطريات المائية أو التى تعيش فى وسط رطب والجرثومة السابحة عبارة عن كتلة بروتوبلازمية عارية ذات أشكال

مختلفة ومزودة بسوط أو أكثر يساعدها على السباحة . وتختلف الأسواط في عددها ومكانها فهي إما أن تكون أمامية أو خلفية أو جانبية .

الجراثيم الداخلية

وهي تتكون داخل حافظة أو كيس ومن أشكالها :

ب) الحواظ الجرثومية Sporangiospores

وتتكون داخل أكياس أو حواظ جرثومية Sporangia وتتميز بأنها غير مسوطة أي غير متحركة Nonmotile وتحاط عادة بجدار خلوي وعندما تتضج فإنها تتطلق من الحافظة بعد تمزقها أو تحللها وتعتمد في إنتشارها على التيارات الهوائية وهذا النوع من الجراثيم تنتجها عادة الفطريات الأرضية بوفرة حيث تنثرها الرياح وعند سقوطها على بيئة ملائمة تثبت لتعيد دورة حياة الفطر وتحمل الحواظ الجرثومية عادة على هيفات متخصصة تسمى حامل الحافظة الجرثومية Sporangiphore كما في فطر

عفن الخبز *Rhizopus stolonifer*

الجراثيم الخارجية Exospores

ويطلق عليها الجراثيم الكونيدية conidiospores أو الكونيديات conidia (المفرد conidium) وهذه الجراثيم غير متحركة تتنظم خارجياً على التراكيب المولدة لها وهي الحوامل الكونيدية conidiophores كما في فطر الأسبرجيلس والبنيسليوم وتختلف الجراثيم الكونيدية في الشكل واللون والحجم والترتيب وعدد الخلايا . وهي توجد إما منفردة كما في فطر بيبثيوم وفيتومنتورا أو في سلاسل كما في فطر البنيسليوم والأسبرجيلس أو في مجاميع تبقى معلقة داخل فطرة مخاطية على شكل رأس لامع كما في شبة الجنس سيفالوسبوريم . وبعض الفطريات ينتج شكلاً واحداً من الجراثيم الكونيدية إلا أن معظمها ينتج أكثر من شكل قد يصل في بعض الأحيان إلى

أربعة أشكال . ويتوقف تصنيف كثير من الفطريات على شكل وحجم هذه الجراثيم الكونيدية ولونها وهذه الكونيديات إما أنها تتولد مباشرة من الأغزال الفطرية أو على حوامل منبثقة منها جانبياً. وكما سبق فإن هذه الكونيديات تختلف من حيث أحجامها وألوانها وما تحتويه من أصباغ وطريقة انقسامها الداخلية فهي إما مقسمة بحواجز عرضية إلى عدد من الخلايا كما هي الحال في الجراثيم الكونيدية لفطر فيوزاريوم *Fusarium sp.* لو تظهر الحواجز العرضية والطولية وتصبح كتلة من الخلايا كما هو الحال في الجراثيم الكونيدية لفطر الترناريا *Alternaria sp.* كل هذه المعايير تعد من الأهمية بمكان لتصنيف الفطريات والتعرف عليها .

وتجدر الإشارة إلى أن الحوامل الجرثومية تتكون بصورة منفردة على سطح الميسليوم أو تتكون بصورة متجمعة في الداخل أو على تركيبات خاصة تختلف في الشكل ومنها :

(أ) البكنيدة أو الوعاء البكنيدي *pycnidium* وهو يشبه الدورق أو الفنجان ويكون عادة مدفوناً في الوسط الذي ينمو عليه الفطر وبه فتحة *ostile* تخرج منها الجراثيم التي تسمى الجراثيم البكنيدية *pycnidiospores* على حالة كتل أو لولب طويل أو خيوط رفيعة .

(ب) *Acervule* وهو تركيب قليل الانخفاض طبقي الشكل يتكون من وسادة هيفية تحمل حوامل قصيرة تتكون عليها الجراثيم الكونيدية التي تتعرض للخارج بعد تمزق بشرة النبات العائل .

(ج) *Sporodochium* وهو يشبه التركيب السابق إلا أن الوسادة الهيفية واضحة التكوين والحوامل الكونيدية متراحمة ومتداخلة وطويلة وعادة يظهر هذا التركيب في كثير من الفطريات .

التكاثر الجنسي Sexual reproduction

معظم الفطريات الحقيقية تتكاثر جنسياً باستثناء الأفراد التابعة لمجموعة الفطريات الناقصة Fungi imperfecti التابعة لعائلة Deuteromycetes الذى يكون فيها الطور الجنسي غائبا أو غير معروف . ويتضمن التكاثر الجنسي فى الفطريات الحقيقية اندماج نواتين متوالفتين من مشيجتين إحداهما أو كلاهما متحرك أو من خليتين خضريتين لنفس الثالوس. ويوجد ثلاث مراحل مميزة لعملية التكاثر الجنسي فى الفطريات والتي تحدث عادة بصورة متتابعة وتتلخص فى عملية الإقتران البلازمى Plasmogamy والتي يطلق عليه أحيانا بالإتحاد الخلوى وفيه يحدث اندماج بين بروتوبلاستى خليتين مما يعمل على إقتران النوى داخل الخلية . ثم تليها عملية الإقتران النووى Karyogamy وهى الخطوة الثانية فى التكاثر الجنسي وفيه تندمج نواتان كلاً منهما أحادية المجموعة الصبغية Haploid (N) لتكوين نواة اللاحة وهى ثنائية المجموعة الصبغية Diploid (2N) . وأخيراً تأتى عملية الإنقسام الإختزالى Meiosis وهو الطور الثالث من أطوار التكاثر الجنسي وهو بلى الإقتران النووى مباشرة أو بعد فترة وفى هذا الطور تبدأ النواة الثنائية المجموعة الصبغية بالإنقسام الإختزالى والذي ينتج عنه إختزال عدد الصبغيات مرة أخرى إلى عدد من الأنوية أحادية المجموعة الصبغية لتدخل فى تكوين الجراثيم الجنسية . وتحدث تلك العمليات الثلاث فى دورة الحياة الجنسية الحقيقية فى تتابع منتظم وفيما يلى وصف لمختلف الطرق التى يتم بها إقتراب الأنوية المتوالفة فى عملية الإقتران البلازمى . وهنا نجد بعض الفطريات تنتج الأعضاء التناسلية على نفس الثالوس الفطرى ويسمى ثالوس خنسى Hermaphroditic أو متشابهة للثالوس Homothalic وبذلك يستطيع مثل هذا الثالوس أن يتناسل بمفرده . وهناك ثالوس ثنائى المسكن Heterothalic وهذا النوع يعجز عن التناسل جنسياً بمفرده ، ويتحقق عادة بأحد الأنماط الأربعة التالية:

١- تزاوج جنسى متشابه الأمشاج Isogamy حيث يحدث التزاوج بين أمشاج تتشابه شكلاً و حجماً والتي تنتج من حوافظ مشيجية متشابهة Isogametangia .

٢- تزاوج جنسى متباين الأمشاج Heterogamy والتي ينتج من حوافظ مشيجية متباينة Heterogametangia وفيه يحدث تزاوج بين أمشاج تتباين شكلاً وحجماً حيث تتميز إلى أمشاج كبيرة وأخرى صغيرة ولا يحدث التزاوج إلا بين كل مشيج كبير وآخر صغير وتعرف الحوافظ المشيجية المنتجة للأمشاج الكبيرة بالحوافظ المشيجية الكبيرة الأثنوية ويحدث ذلك عادة في الفطريات البدائية .

٣- فقدان الأمشاج لأهدابها وبقائها داخل الحافظة المشيجية Gametangia الكبيرة المنتجة لها وفي هذه الحالة يعرف المشيج الكبير بالبيضة Oosphere أما الحافظة المشيجية الكبيرة فتعرف باسم الأوجونة Oogonium أو الأسكوجونة Ascogonium أما الحافظة المشيجية الصغيرة فتعرف عندئذ باسم الإنثريدة Antheridium وتعرف الأمشاج الصغيرة التي تنتجها باسم الساعات الذكرية والخطوة التطورية في التناسل الأوجوني أن أحد الأمشاج يظل ساكناً ومستقراً بينما يتحرك الآخر ومن ثم تزيد فرصة اللقاء بين هذه الأمشاج .

٤- هناك طراز رابع من التناسل الجنسي يتميز به فطريات العفن دون غيرها من الفطريات وهو يختص بالتزاوج أو الإتحاد بين أجزاء خضرية من الخيط الفطري كما في فطر رايزوبس ستولونيفر .

الأهمية الإقتصادية Economic importance

تقوم الفطريات بدور هام في إحداث التغيرات المستمرة التي تحدث بالطبيعة بسبب دوام وجودها وأعدادها المدهشة إذ تعد الفطريات هي

المسئولة بوجه خاص إلى جانب البكتيريا عن تحليل المادة العضوية وإطلاق غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2 الذى تستخدمه النباتات الراقية فى عمليات التمثيل الضوئى . ويوجد على سطح التربة الزراعية كميات هائلة من الفطريات فى جرام واحد من التربة الزراعية يوجد عشرات وربما مئات الألوف من الفطريات المجهرية ونتيجة للنشاط المستمر لهذا العدد الهائل ترتفع خصوبة التربة الزراعية وبالتالي يزداد المحصول .

وكثير من الفطريات لها تأثيرات ضارة وتأثيرات مفيدة فمن تأثيراتها الضارة أنها مسئولة عن معظم الأمراض التى تصيب النباتات المختلفة ذات القيمة الإقتصادية كأشجار الفاكهة والزينة ونباتات الخضراوات والمحاصيل المختلفة والتى تسبب عرقلة نمو النباتات ومن ثم تؤثر على كمية وجودة المحصول . وبعض الفطريات تسبب أمراضاً كثيرة للإنسان والحيوان وإن نوعاً منها يسبب تسمماً يسمى بالتسمم الإرجوتى *Ergotism* الذى يصيب كلاً من الإنسان والحيوان عند تناوله حبوب القمح والشوفان المصابة ويسببه الفطر المسمى كلافيسيس بيربوريا *Claviceps purpurea* ويرجع السبب إلى ما تحتويه الأجسام الحجرية للفطر من أشباه القلويات السامة .

وللفطريات أيضاً تأثيرات مرضية على الإنسان والحيوان (Mycosis) فبعضها يسبب أمراضاً جلدية وباطنية وإلتهابات فى المسالك التنفسية فقد وجد أن بعض الفطريات يعيش متطفلاً على الإنسان ويسبب له بعض الأمراض الجلدية مثل مرض القراع العسلى حيث تتم بسببه إصابة الجلد وخاصة فروة الرأس والشعر بنوع من الفطر الطفيلى *Trycophyton sp.* كما أن هناك بعض الأمراض الجلدية التى تسببها أنواع من الفطريات الخيطية . كما أن بعض أنواع فطر الأسبرجيلس يسبب أمراضاً وإلتهابات مختلفة للأنس الوسطى للإنسان حتى أصبح علم الفطريات

الطبي أحد فروع التخصص في ميدان الطب . ومن الأضرار الأخرى للفطريات أنها تسبب تلف الأخشاب وتحللها فيسبب عن ذلك هدم المنازل والجسور والسكك الحديدية وأعمدة الخطوط السلكية وخاصة في المناطق الباردة والمناطق الإستوائية ومن أمثلة هذه المجموعة من الفطريات *Polyporus sp.* و *Fomes sp.* إذ أنها تسبب تحلل وتآكل الألياف والورق والبضائع الجلدية والمنسوجات وتسبب أيضاً تلف المواد الغذائية وتعفنها وخاصة إذا توفرت لها الرطوبة الكافية ودرجة الحرارة الملائمة . ولكن على الرغم من الأضرار البالغة التي تسببها الفطريات لمختلف الكائنات الحية الأخرى إلا أن لبعضها تأثيرات مفيدة للإنسان ويمكن تلخيصها فيما يلي :

- ١- تسبب تحلل المواد العضوية إلى مركبات بسيطة فتزيد خصوبة التربة الزراعية لما تحدثه من تغيرات متعددة يستفيد منها النبات وبالتالي الحيوان وبذلك فهي تساهم في التخلص من تراكم المواد العضوية .
- ٢- تقوم بدور فعال في مجال التصنيع الغذائي حيث تفيد في تحضير بعض أنواع الجبن كما في أنواع الجنس بنسيليوم *Penicillium requeforti*
- ٣- تدخل بعض الفطريات في غذاء الإنسان الأساس حيث تستهلك إما بحالتها الطازجة أو المجففة أو المملحة ومن أهمها فطريات عيش الغراب *Mushrooms* . وكان الإنسان قديماً يجمع فطريات عيش الغراب من الحقول والغابات وأصبح الآن يزرعها ويضاعف إنتاجها ويجدر الإشارة هنا إلى أنه يوجد أنواع سامة من عيش الغراب يطلق عليها لفظة *Toods tools* لا يمكن تمييزها من الناحية الشكلية عن الأنواع التي تستعمل كغذاء للإنسان ولكنها تختلف عنها في التركيب الكيميائي فيكون بعضها غير مأمون العاقبة تماماً . والطريقة الوحيدة المأمونة التي يمكن

معرفة الأنواع غير السامة والصالحة للأكل من فطريات عيش الغراب هي الإلمام بصفات أنواع الأفراد المألوفة من الفطر وذلك باستخدام معاجم مناسبة مع التدريب الكافي . وفي أوروبا يستعمل الإنسان أكثر من ١٥٠ نوعاً في غذائه ولكن أشهرها وأجودها النوع المسمى *Boletus edulis* وأجاريكس بايسبورس *Agaricus bisporus* وأجاريجس كامبستريس *A. campestris*

٤- تعتبر الفطريات مصدراً لبعض المواد الإقتصادية ، كالإنزيمات وبعض مضادات الحيوية كالبنسلين والذي تنتجه فطريات تابعة لجنس البنسليوم

Penicillium

٥- تستخدم الفطريات كأنواع الجنس أسبيرجيلس في تحضير وإنتاج الكثير من الأحماض العضوية كحمض الستريك والخليك .

٦- تعتبر الفطريات مصدراً لبعض الفيتامينات مثل فيتامين (ب) المركب .

٧- تستعمل بعض أنواع الفطريات صناعياً مثل فطر الخميرة في تحضير المواد الكحولية في دول الغرب بالإضافة إلى أن الخميرة المضغوطة تضاف إلى العجينة المستخدمة في عمل الخبز لتخميرها حيث يجعل الرغبة خفيفاً ومنتفخاً وذا مسام وتام النضج مستساغ للمستهلك .

٨- تستعمل الأجسام الحجرية *Sclerotia* في فطر *Claviceps purpurea* لتحضير عقاقير خاصة لإستحداث تقلصات الرحم ومنع النزيف أثناء الولادة مما يجعل أمر الولادة يسيراً .

الفصل الخامس :

شكل وتركيب الخلية البكتيرية

شكل وتركيب الخلية البكتيرية

Shape and structure of bacterial cell

أولاً : الشكل المظهري للبكتيريا Bacterial Morphology

تشتمل الدراسات المظهرية للخلية البكتيرية على معرفة حجمها Cellular size وشكلها Cellular shape وطريقة تجمع الخلايا Cellular arrangement وطريقة تحركها Motility .

ومن ناحية الشكل فإن الخلايا الفردية من البكتيريا إما أن تكون مستديرة أو عصوية أو منحنية قليلاً أو كثيراً أو ذات عدة إنحناءات لتظهر بشكل حلزوني أو بريمي . وعلاوة على ذلك فإن خلايا بعض الأنواع البكتيرية قد تنظم نفسها في تجمعات ثابتة ومختلفة منها التجمعات المزدوجة أو العنقودية أو السبحية . ويتحتم على الدارسين معرفة هذه التجمعات لأهميتها في الأغراض التصنيفية .

حجم الخلية البكتيرية

تتراوح أبعاد معظم البكتيريا العصوية $2-5 \times 0.5-1$ ميكرون (الميكرون $\mu = 1/1000$ مم) ، والخلايا الكروية مثل Streptococci و Staphylococci يتراوح قطرها بين $0.75-1.25$ ميكرون . والعصويات القصيرة مثل البكتيريا التي تسبب التيفود أو الدوسنتاريا يتراوح عرضها بين $0.5-1$ ميكرون والطول $2-3$ ميكرون . وهناك بكتيريا لها شكل الخيوط قد يصل طولها إلى 100 ميكرون أو أكثر كما هو الحال في الأكتينوميستات . ولتوضيح مدى صغر حجم الخلية البكتيرية فإن البوصة المكعبة الواحدة تكون كافية لإحتواء 9 تريليون Trillion من الخلايا العصوية متوسطة الحجم وأن

١ جرام يحتوى تقريباً على تريليون من الخلايا البكتيرية . وعادة فإن الفحص المجهرى للبكتيريا فى المعمل يتم بعد تكبيرها ما يقرب من ١٠٠٠ مرة .
وبدقة حجم البكتيريا له أهمية للخلية نفسها فمثلاً نجد نسبة السطح إلى الحجم فى البكتيريا كبيراً جداً عنها فى الكائنات الأخرى وفى حالة الكروبيات الصغيرة فإن نسبة السطح إلى الحجم $\text{Surface area / volume}$ يصل إلى ١٢٠٠٠٠ ، وفى حالة الكائنات الأكبر حجماً مثل الأميبا إذا ما اعتبرنا أن شكلها كروى وقطرها يصل إلى ١٥٠ ميكرون نجد النسبة بين مساحة السطح والحجم ٤٠٠ ، وفى حالة الخلايا الأكبر حجماً مثل بيض الدجاج تصل النسبة فقط ١,٥ . لما فى الكائنات الكبيرة تقل النسبة إلى أقل من الوحدة . وذلك الزيادة الكبيرة فى قيمة مساحة السطح إلى الحجم والتي تتمتع بها البكتيريا تفسر لنا كيف أن للبكتيريا نشاطاً أيضاً كبيراً وسريعاً وذلك لأن كل التفاعلات الأيضية تتم على سطحها الكبير نسبياً .

ومساحة السطح الخارجى للخلية له أهمية عند تقدير سرعة إمتصاص الغذاء من الوسط الخارجى وكذلك إحداث التغيرات الكيماوية حيث أنه كلما كبر السطح الخارجى بالنسبة للوزن كان من المنتظر أن تزداد سرعة إمتصاص الغذاء من الوسط المحيط وأيضاً سرعة تحلله وعلى أساس هذه النظرية يمكن فهم أسباب إستهلاك البكتيريا لكميات غذائية ضخمة ، وكذلك التغيرات الكيماوية الكثيرة التى تحدثها .

ولما كانت سرعة إمتصاص الغذاء وتحويله تزداد بزيادة هذا السطح. كانت سرعة البكتيريا فى الإمتصاص تفوق كثيراً سرعة الأحياء الراقية ولذلك يمكن لخلية بكتيرية والتي لها القدرة على تخمير سكر اللاكتوز أن تستهلك مثل وزنها من اللاكتوز خلال ساعة واحدة من ١٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ مرة فى حين يستهلك الإنسان ١٠٠٠ مرة مثل وزنه خلال ٢٥٠٠٠٠ ساعة.

شكل ونظام تجمع الخلايا البكتيرية **Shape and arrangement of bacterial cells**
بالرغم من تعدد النواع البكتيرية إلا أن شكلها الظاهري ينحصر بين
الشكل الكروي Spherical أو العصوي Rodlike أو إسطوانية Cylindrical
أو حلزوني Hellicoidal or spiral .
أولاً : الخلايا الكروية Spherical cells

والخلايا الكروية يطلق عليها cocci (مفرد Coccus) وكثير من هـ.
البكتيريا لها نظام تجمع ثابت له أهمية في أغراض التعريف . فمنها ما يتجمع
في أزواج Diplococci مثل بكتيريا Neisseria gonorrhoeae أو في سلاسل
أو بشكل سبج Streptococci مثل بكتيريا Streptococcus lactis ، أو تتجمع
في أربع خلايا مرتبة على شكل رباعي منتظم Tetrads مثل Pediococcus
sp. ، أو تتجمع الخلايا بشكل عناقيد تشبه عنقود العنب Staphylococci مثل
Staphylococcus aureus ، أو تتجمع الخلايا في صورة فردية أو في
تجمعات غير منتظمة ومنها Micrococcus sp. أو ترتيب مكعبى (مكعب
مكون من ٨ خلايا أو مضاعفاتهما) Sarcina مثل Sporosarcina ureae .
وهذا التجمع الثابت للبكتيريا الكروية يمكن تفسيره نتيجة دخولها في عمليات
الزيادة في العدد أو التكاثر للأنواع المختلفة من البكتيريا. فالبكتيريا تتكاثر
أساساً عن طريق عملية تسمى الإنقسام الثنائى Binary fission فالخلية
المفردة تنقسم عرضياً لتكوين خليتين جديدتين وبعد الوقت المناسب فإن الخلية
الكروية تنقسم في مستوى واحد Single plane وتتكون خليتان تبقى كل منهما
متصلة بالأخرى . بعد فترة أخرى من الوقت سيحدث إنقسام آخر وتتكون
أربع خلايا فيتكون زوجان من الخلايا الكروية ويعتبر هذا ترتيب أو تجمع
arrangement وفيه يسود ازدواج الكرويات Diplococcus عقب الإنقسام .
وإذا حدث التكاثر في مستوى واحد مثل السابق ولكن تظل الكرويات
متصلة بعد عديد من الإنقسامات المتتالية فسيعطى ذلك مظهر السلسلة

Streptococcus والاسم مشتق من الكلمة اليونانية **Streptos** ، وهى تعنى سبحة أو خيط ، لذلك يطلق عليها البكتيريا السبحية . ويلاحظ أن بعض الـ **Streptococci** تكون متميزة بتكوين سلاسل قصيرة مثلاً ٤-٦ خلايا فى حين أن أنواعاً أخرى تكون سلاسل طويلة . وتوجد أنواع أخرى تنقسم فى ثلاثة مستويات ولكن بدون نظام معين ينتج عنها عناقيد منتظمة **Staphylococcus** الخلايا الكروية التى تنقسم بالتتابع فى مستويين **Two planes** على زوايا قائمة تكون مربعات من ٤ خلايا تسمى **Tetrads** . وأخيراً فإن بعض الكرويات تنقسم فى ثلاث مستويات على زوايا قائمة لتكون مكعبات من الخلايا **Sarcinae** ، وهى مشتقة من الكلمة اللاتينية **Sarcina** وتعنى علبة أو حزمة أو مكعب . وقد يحتوى المكعب الواحد على ٨ خلايا أو ١٦ خلية أو ٣٢ خلية ، وهكذا كل من نماذج تجمعات الخلايا تعتبر صفة مميزة لنوع أو جنس معين من البكتيريا الكروية . وعند وصف الشكل الظاهرى للخلايا الكروية فإن نظام التجمع أو الترتيب للخلايا يجب أن يوصف بدقة ويلاحظ أنه نادراً ما تكون كل الخلايا فى نوع معين ترتب فى نظام نموذجى ولكن الترتيب أو التجمع السائد يكون هو الصفة الأساسية .

ثانياً : الخلايا العصوية **Rodlike cells**

الخلايا البكتيرية عصوية الشكل أى التى تشبه العصا **Rodlike** ، تسمى **Bacillus** وجمعها **Bacilli** ، لا ترتب نفسها فى نماذج متميزة ثابتة مثل الخلايا الكروية إلا أنها أحياناً ما تشاهد فى أزواج يمكن أن يطلق عليها **Diplobacilli** أو فى سلاسل يمكن أن يطلق عليها **Streptobacilli** . وفى كثير من الأحيان لا يكون هذا الترتيب ثابتاً ولا يمثل نموذجاً مورفولوجياً مميزاً بل يعزى إلى مرحلة النمو أو إلى ظروف البيئة الغذائية التى تنمو فيها البكتيريا أو قد يعزى إلى نمط الزراعة ما إذا كانت فى مزرعة ساكنة

Shake culture أو مهتزة **Stagnant culture**

فى أحيان قليلة يكون للبكتيريا العصوية الميل إلى إنتاج تجمعات من الخلايا تقع الواحدة بجوار الأخرى مثل عيدان الكبريت أو بشكل الحروف الصينية ، وقد تسمى بالترتيب العمادى Palisade arrangement وذلك من مميزات الجنس *Corynebacterium* . وتختلف البكتيريا العصوية كثيراً فى أبعادها فمنها أنواع تكون خلاياها متوسطة الطول ، وأنواعاً أخرى يكون طول خلاياها أكثر قليلاً من عرضها ، فى حين أن أنواعاً أخرى يكون طول خلاياها أكبر بعدة مرات من عرضها .

ثالثاً : الخلايا الحلزونية Spiral cells

البكتيريا ذات الشكل الحلزونى Spiral shaped bacteria تسمى *Spirillum* وجمعها *Spirilla* غالباً توجد كخلايا مفردة غير متصلة . والخلايا الفردية للأنواع الحلزونية المختلفة تظهر أشكالاً مختلفة من حيث الطول وعدد الانحناءات وصلابة الجدر الخلوية . بعضها قصير وتعتبر عصا صغيرة منحنية والبعض الآخر يكون طويلاً ويظهر سلسلة من الانحناءات والإلتواءات . والخلايا القصيرة والتي تكون حلزون غير كامل أو تحتوى على إنحناءة واحدة تسمى *Comma* (*Vibrio*) ، وسميت هكذا لأنها تشبه الكوما أو الضمة . ومعظم البكتيريا تحت الدراسة تكون من البكتيريا الحقيقية *Eubacteria* والتي ينطبق عليها الصفات سالفه الذكر ، وهى ذات خلايا مفردة تكون كروية أو عصوية ذات جدار صلب ولا تكون خيوطاً *Trichomes* أو أغلفة *Sheaths* أو حوامل *Stalks* وتتكاثر أساساً عن طريق الإنقسام العرضى *Binary fission* .

رابعاً أشكال أخرى للبكتيريا Other bacterial shape

أ- أكتينومييسيتات Actinomycetes

هذا ويصنف مع البكتيريا عموماً كائنات تختلف فى صفاتها عن البكتيريا الحقيقية من الناحية المورفولوجية فتظهر أجسامها بشكل خيوط كما

فى حالة الأكتينومييسيتات . والخيط ذات تفرع حقيقى وتعرف بالهيفات وهى غير مقسمة بجدر عرضية وتشبه هيفات الفطريات الطحلبية *Phycomycetes* إلا أنها أتق منها حجماً وهذا هو السبب الحقيقى لتصنيفها مع البكتيريا . ويصل سمك هيفات الأكتينومييسيتات ١ ميكرون فى حين أن هيفات الفطريات الطحلبية لا يقل سمكها عن ٥ ميكرون . وتتكاثر الأكتينومييسيتات فى أبسط تركيباتها بتجزئة هيفاتها مكونة أجزاء فردية عسوية أو دائرية الشكل ، إلا أن الأفراد الراقية من الأكتينومييسيتات مثل أنواع الجنس *Streptomyces* فهى تنمو لتكون ميسليوماً حقيقياً ويكون مستعمرات واضحة ذات مظهر طباشيرى جاف على بيئة الأجار المغذى ، كما تكون أيضاً ميسليوماً هوائياً عبارة عن هيفات قائمة تشبه كثيراً هيفات الفطريات . وتتكاثر هذه الأفراد بتكوين نوع من الجراثيم التى تحمل عل نهايات الهيفات القائمة تعرف بالجراثيم الكونيدية والتى تشاهد فى سلاسل مستقيمة أو منحنية .

ب- الكورينى بكتيريا *Corynebacteria*

وقد ضمت الكورينى بكتيريا *Corynebacteria* إلى مجموعة الأكتينومييسيتات لوجود تشابه مورفولوجى بينهما . والكورينى بكتيريا عسويات مستقيمة أو منحنية قليلاً لا تصطبغ بانتظام بالصبغات العادية نظراً لكثرة احتواء خلاياها على حبيبات *Granules* . وغالباً تظهر بالخلايا إنتفاخات بحيث تظهر كأنها صولجانية الشكل أو تظهر بشكل متفرع ، وهذا ما دعى لضمها إلى مجموعة الأكتينومييسيتات . والخلايا لها ميل لتكوين تجمعات من الخلايا تقع الواحدة بجوار الأخرى مثل عيدان الكبريت وقد تسمى بالترتيب العمادى *Palisade arrangement* أو بشكل الحروف الصينية . وهى غالباً غير متحركة وموجبة لجرام مثل البكتيريا المسببة

لمرض الدفتيريا *Corynebacterium diphtheriae* وهى النوع المثالى لهذا الجنس البكتيرى .

ج- الميكوبكتيريا *Mycobacteria*

ضمت هذه البكتيريا إلى الأكتينومييسيتات ، وهى عصويات مستقيمة أو قليلة الإنحناء ، لمظهرها شبه المتفرع فى بعض الأحيان . قد تكون خيوط سرعان ما تتكسر إلى وحدات صغيرة عصوية أو كروية . عندما تصبغ هذه البكتيريا بصبغة الفوكسين القاعدى المذاب فى محلول مائى للفينول فإن الخلايا تقبل الصبغة ، ولا تخرج الصبغة منها عند معاملتها بالكحول الحامضى ، وهذه الصبغة تعرف بالمقاومة للأحماض Acid fastness . وأكثر الأنواع التى ينطبق عليها هذه الظاهرة هى البكتيريا المسببة لمرض السل *Mycobacterium tuberculosis* .

د- البكتيريا الهلامية *Myxobacteria*

وهناك مجموعة أخرى من البكتيريا ذات تركيب مورفولوجى خاص تسمى البكتيريا الهلامية *Myxobacteria* . والخلايا الفردية لها القدرة على التحرك حركة إنزلاقية لذلك سميت بالبكتيريا المنزلقة *Gliding bacteria* رغم عدم إمتلاكها لأعضاء خاصة بالحركة . وهذا يوضح أن خلاياها أكثر مرونة من خلايا معظم المجاميع البكتيرية الأخرى . وتتميز خلايا هذه المجموعة بقدرتها على التغير فى شكلها فتصبح أقصر طولاً متخذة الشكل البيضى أو الكروى ثم تحيط نفسها بجدار خارجى سميك، وتعرف الخلية عندئذ باسم الحويصلات *Microcysts* وهذه ترتبط ببعضها بطبقة هلامية سميقة مكونة لما يعرف بالجسم الثمرى *Fruiting body* . وفى بعض الأنواع تتخذ الأجسام الثمرية أشكالا مميزة تكون جالسة أو ذات عنق أو أعناق مختلفة الشكل وعادة تكون الأجسام الثمرية ملونة بألوان منها الأصفر أو البرتقالى أو الأحمر .

هـ- البكتيريا المغنفة Stalk bacteria

وهذه المجموعة من البكتيريا يتكون لها أعناق شبه صلبة semisolid stalks من مواد عضوية وأكاسيد الحديد والمنجنيز كما في أجناس *Gallionella* وهي بكتيريا سالبة لجرام تنتشر بالتربة الزراعية حيث تلعب دوراً هاماً في أكسدة الحديد والمنجنيز .

ثانياً : تركيب الخلية البكتيرية Bacterial cell structure

لا يختلف تركيب الخلية البكتيرية كثيراً عن باقى الخلايا الحية إلا أن هناك بعض الاختلافات التى تميز الخلية البكتيرية عن غيرها من الخلايا . فبعضها يغلف من الخارج بطبقة هلامية مخاطية تعرف بالغلاف Capsule مكون من السكريات العديدة . وغالبية خلايا البكتيريا له جدار يختلف فى التركيب الكيماوى عن الجدر الخلوية للخلايا الأخرى . وهذا الجدار يحيط بالغشاء السيتوبلازمى Cytoplasmic membrane الذى يحدد ويحيط بدوره البروتوبلازم . ويظهر السيتوبلازم البكتيرى فى الصورة الإلكترونية ميكروسكوبية بمظهر حبيبي Granular cytoplasm ناتج عن وجود عدد كبير من الريبوسومات Ribosomes . وخلال السيتوبلازم توجد المنطقة النووية Nuclear area أو Bacterial nucleoid وتظهر فى القطاعات الرقيقة مختلفة عن نواة النبات والحيوان فى أنها لا تتفصل عن المحتويات السيتوبلازمية بغشاء نووى Nuclear membrane بل إنها منشرة فى السيتوبلازم Diffused in cytoplasm . ويوجد فى عديد من البكتيريا تركيب غشائى Membranous structure يسمى Mesosomes تكون بالقرب من المنطقة النووية أو مصاحبة للغشاء السيتوبلازمى . وتوجد أيضاً أنواع مختلفة من المحتويات حبيبية المظهر والتى تتربك كيميائياً من Lipid أو Volutin أو Metaphosphate . وقد يوجد فى السيتوبلازم خاصة البكتيريا الممثلة

للضوء عدداً من تراكيب تسمى حوامل الألوان Chromatophores وهذه الأعضاء تحمل الكلوروفيل البكتيري ويحدث فيها التمثيل الضوئي . والجدار الخلوي والخلية البكتيرية قد تغطي بزوائد تسمى فيمبريا Fimbriae or pili مهمتها الالتصاق في البيئة أو الوسط المحيط أو الخلايا الأخرى . والبكتيريا المتحركة Motile bacteria تمتلك على الأقل سوط واحد (Flagellum) (جمع Flagella) يختلف توزيعها على سطح الخلية باختلاف الأنواع والأجناس ، إلا أن هناك بكتيريا تتحرك بالرغم من غياب الأسواط أو أي أعضاء للحركة . والأسواط عبارة عن تركيبات بروتينية طويلة ورقيقة .

ويمكن تسمية طبقة السطح والجدار الخلوي والغشاء السيتوبلازمي بالسطح الخلوي حيث ينم على هذه التركيبات الكثير من التفاعلات الأيضية . كما يجب ملاحظة أن الغشاء السيتوبلازمي يعتبر أيضاً ضمن المحتويات الداخلية للخلية والتي تشمل السيتوبلازم والجهاز النووي والحبيبات وغيرها من المكونات . وفيما يلي شرحاً مبسطاً لكل من التراكيب الأساسية للخلية البكتيرية لمعرفة تركيبها والوظائف الحيوية التي تقوم بها .

أولاً : السطح الخلوي Cellular surface

١ - الأسواط Flagella

ومفردها Flagellum وهي تشبه الشعيرات وهي وسيلة الحركة الأساسية حيث يمكن أن تقسم البكتيريا على أساسها إلى مجموعتين وهي بكتيريا متحركة وبكتيريا غير متحركة . وكما أوضحنا أن الشعيرات المسماة بالأسواط أرفع من هيفات الفطر ، ويختلف تواجدها على سطح الخلية فمنها أسواط طرفية حيث تخرج من طرف واحد أما سوط واحد أو عديدة الأسواط أو من الطرفين أو تكون موزعة على سطح الخلية ويتركب السوط من ثلاث أجزاء الأول هو الجسم القاعدي Basal body وهو ملتصق بالغشاء البلازمي

للجدار الخلوى . ثم الخطاف hook وهو جزء قصير ويحمل الأسوط ، والجزء الخير هو الخيط Filament وهو خيط طويل وقد يساوى طول الخلية أو أكثر . ولا يعرف تركيب الجزء القاعدى ودوره إلى الآن أما الخطاف والخيط فيتركبا من بروتين يسمى Felagellin ويتم نمو الأسوط من طرفه بدرجة أكبر من نموه من الجسم القاعدى .

٢ - البيلي Pili

ومفردها Pilus وقد تسمى Fimbria وهى زوائد فارغة تكون لرفع من الأسواط وأقصر منها وهى وسيلة للحركة ولكن لها وظيفة أخرى فتعتبر F-pili ذو وظيفة جنسية حيث تمر المواد الوراثية عند حدوث عملية التكاثر الجنىسى لو ما يسمى بالتزاوج . ويلعب pili دوراً هاماً فى حياة البكتيريا الممرضة حيث يلتصق بالعائل وتساعد فى إحداث العدوى . كذلك فإنها تلعب دوراً فى عملية إصابة الخلية بالفيروس المتخصص Bacteriophage حيث تساعد فى جذب الفيروس المتخصص للسلالة البكتيرية . كذلك وجد أن لها دوراً فى مساعدة الخلية فى النمو فى الأوساط السائلة عند نقص كمية الأكسجين .

وهى تظهر فى البكتيريا المتحركة وغير المتحركة فهى إذن لا علاقة لها بالحركة . والبيلي تغطى سطح الخلية بأعداد تصل لعدة مئات . وهى مثل الأسواط تتكون من وحدات من البروتين الذى يعرف باسم البيلين Pilin تلتف حول تجويف محورى .

وقد لوحظ أن البكتيريا E. coli تحمل عدداً قليلاً من البيلي يعرف F-pili ويعتقد أن هذا النوع ذا أهمية لإعتبار الخلية معطية للمادة الوراثية أثناء التكاثر الجنىسى . ويختفى هذا النوع من على الخلايا عندما يزال منها العامل F ولكنها تعود للظهور مرة أخرى عندما تكتسب الخلية العامل F . من ذلك نرى أن نقل الكروموسوم من خلية إلى أخرى أثناء التزاوج يعتمد على وجود الـ F-

pili . وأن كان من غير المعروف على وجه اليقين أن إنتقال الكروموسوم من الخلية المعطية إلى الخلية المستقبلة يكون خلال الـ Pili . ومن المحتمل أن الـ Pilus يكون ضروري فقط في تقارب أو تصاحب الخليتين أثناء عملية التزاوج.

٣- الغلاف Capsule

تحاط بعض البكتيريا بطبقة لزجة viscous layer أو هلامية Slime تسمى الغلاف ، وقد تنوب المواد الهلامية في البيئة وعلى ذلك فتزداد لزوجة البيئة الغذائية وبذلك فإنه في الحالة الأخيرة قد لا يظهر الغلاف حول الخلية. وقد يصعب أيضاً تحديد طبقة الغلاف على بعض الخلايا لقلّة سمكها وتعرف في هذه الحالة بالغلاف الدقيق Microcapsule . والتركيب الكيماوي للغلاف يختلف باختلاف النوع وقد يختلف حتى في نفس النوع من سلالة لأخرى .

ويلاحظ أنه توجد أنواع من البكتيريا لا تحتوي على غلاف أو تفقدها دون أن يؤثر ذلك على حيويتها ومعدل نموها . وفي بعض الأحيان تتأثر طبقة الغلاف بعوامل البيئة . ويلاحظ ذلك في البكتيريا التي تتكون أغلفتها من (Dextran (Polyglucose أو من (Levan (polyfructose وهذه عديدات السكر تتخلق فقط من السكروز وليس من غيره من السكريات مثل ما يحدث ببكتيريا *Leuconostoc mesenteroides* فهي تكون مستعمرات صغيرة في وجود الجلوكوز ومستعمرات مخاطية كبيرة نتيجة لتكوين طبقة الغلاف في وجود السكروز . وقد يتحول السكروز عند صناعة قصب السكر إلى مواد هلامية عديمة القيمة في عصير القصب عندما يثوث بواسطة هذه البكتيريا مما يسبب مشاكل في صناعة السكر . والكبسول وظائف عديدة منها أنها تعمل على حماية الخلية من الجفاف ، يلعب دوراً في الالتصاق مع البكتيريوفاج في البكتيريا المصابة بالفيروس ، وقد يلعب دوراً في تثبيط عملية تأثير خلايا كرات الدم البيضاء على البكتيريا الممرضة ، قد يساعد في الالتصاق البكتيريا على السطوح ،

هذا علاوة على أنه إذا احتوى الكبسول على شحنات كهربية مثل ما يحدث في حالة أحماض اليوريك المرتبطة بالسكر Sugar – Uranic acids فإنه يزيد من ثبات المعلق البكتيري وذلك بتكوين شحنات مشابهة للموجودة في الوسط .
وينعكس وجود أو غياب طبقة الغلاف على شكل المستعمرة . فغياب الغلاف يسبب تكون مستعمرات خشنة (R) Rough colonies ووجود الغلاف يسبب تكون مستعمرات ناعمة (S) Smooth colonies ، وقد تكون طبقة الغلاف كبيرة فتتكون مستعمرات مخاطية (M) Mucoïd colonies ، وقد توجد مستعمرات ذات درجات متوسطة بين النعومة والخشونة تسمى Intermediate colonies (I) . ووجود طبقة الغلاف تكون مرتبطة عادة بالقدررة الإمراضية Virulence للبكتيريا ففي حالة البكتيريا *Streptococcus pneumoniae* التي تسبب التهاب رئوي فإن المستعمرات الناعمة (S) تكون قادرة على إحداث العدوى لما المستعمرات الخشنة (R) من نفس النوع البكتيري تكون غير قادرة على إحداث المرض حيث أن الخلايا غير المغلفة تكون أسهل في التحطم بواسطة النظام الدفاعي للجسم المصاب . وعلى ذلك فالغلاف أهمية كبيرة بالنسبة للبكتيريا فهو يعتبر وسيلة لحماية الخلية من النظم الدفاعية الموجودة في جسم الإنسان أو الحيوان . وقد يحدث تطفر في شكل المستعمرة فتظهر مستعمرات خشنة (R) في مجموع من مستعمرات ناعمة (S) .

٤ - الجدار الخلوي Cell wall

يقع الجدار الخلوي قبل الغشاء البلازمي والزوائد الخارجية سابقة الذكر للخارج . والجدار الخلوي صلب يعطي للخلية شكلها ويحافظ عليها من الانفجار نتيجة دخول الماء من الوسط الذي تنمو فيه إلى داخل الخلية . وذلك لأن الضغط الاسموزي خارج الخلية أقل منه داخل الخلية فقد يؤدي ذلك إلى البلازمة بواسطة الموجات فوق الصوتية أو إلى الانفجار حسب مقدار الضغط.

ويمكن عزل الجدار الخلوى لتحليله بواسطة تمزيقه ميكانيكياً بواسطة الموجات فوق الصوتية ultrasonic أو فى وجود مواد مثل الرمل أو مقطع الزجاج مع الطحن الشديد أو تغيير الضغوط المتعرض لها الجدار ثم الطرد المركزى على سرعات مختلفة لعزل مادة الجدار الخلوى . وللجدار الخلوى دور فى النمو والانقسام لأن الخلية الخالية من الجدار protoplast ليست لها القدرة على النمو الانقسام الطبيعى . ويمثل الجدار الخلوى حوالى ١٠ - ٤٠ % من الوزن الجاف للخلية .

جدار الخلية البكتيرية عبارة عن تركيب صلب يعطى شكل الخلية ، لدرجة أنه لو أزيل من الخلايا العسوية أو الحلزونية فإن البروتوبلاست الناتج يتخذ الشكل الدائرى مباشرة . وسك الجدار الخلوى حوالى ١٠ - ٨٠ nm وهو يكون ٢٠ % من الوزن الجاف للخلية . والجدار الخلوى ذات تركيب كيمائى معقد يختلف من نوع بكتيرى إلى آخر .

يتتركب الجدار الخلوى من peptidoglycan والتي تسمى murein وهو غير ذائب ويشترك فى كل من البكتيريا غير الحقيقية ومجموعة البكتيريا الحقيقية Eubacteria وهو عبارة عن سلاسل من N-acetylmuramic acid متصلة بروابط مع N-acetylglucose amine ، ويوجد العديد من الأحماض الأمينية متصلة بالهيكل الأساسى للجدار الخلوى مثل أحماض الألانين والجلوتاميك . وتوجد مجموعة من بكتيريا Archaeobacteria و Eubacteria وهى تشمل Methanobacterium وهى تحتوى فى جدارها الخلوى على بروتينات متحدة مع polysaccharides أو عديدات السكر ، وتنقسم إلى مجموعتين كبيرتين حسب مدى قابليتها للصبغ بواسطة الكريستال البنفسجى وتسمى هذه بصبغة جرام وتشمل هاتان المجموعتان بكتيريا سالبة لجرام وأخرى موجبة لجرام ويرجع ذلك إلى التركيب الخلوى لجدار الخلية .

وتعرف صبغة جرام Gram stain أيضاً بتفاعل جرام وهي من أهم الاختبارات التي تجرى على البكتيريا ، وهي طريقة من طرق الصبغ المركب أو الصبغ التفريقي أوجدها العالم Christian Gram سنة ١٨٨٤ لتقسيم البكتيريا إلى مجموعتين كبيرتين . ويشترط لإجراء هذا الاختبار التفريقي أن تكون المزرعة حديثة العمر وتتم بمعاملة الغشاء بصبغة الكريستال البنفسجي ثم اليود ثم الغسيل بالكحول فتغسل الصبغة البنفسجية من البكتيريا السالبة ولا تغسل في الموجبة ، ولتسهيل رؤية الخلايا في المجموعة الأولى فتستعمل صبغة أخرى تسمى صبغة عكسية أو صبغة مضادة ذات لون مختلف مثل السفرائين Safranin أو الفوكسين حمراء اللون .

وقد يرجع الاختلاف بين البكتيريا الموجبة لجرام والسالبة لهذا التفاعل إلى أن سطوح الخلايا الموجبة لجرام لو الجزء القريب من السطح يحتوى على ملح الماغنسيوم لحامض الريبونيوكلريك Ribonucleic acid وهذا يكون مع كل من البروتين الخلوي وصبغة الكريستال البنفسجي واليود مركب معقد بنفسي اللون يثبت في الخلية ولا يذوب في الكحول فتصبح الصبغة مقاومة للإزالة عند الغسيل بالكحول . أما البكتيريا السالبة لصبغة جرام فإن التركيب الكيماوي لسطح خلاياها لا يحتوى على ملح حمض الريبونيوكلريك والماغنسيوم وبالتالي لا تكون المركب المعقد فيسهل غسل الصبغة بالكحول . ويلاحظ أن بعض المزارع الموجبة لجرام قد تفقد إيجابيتها وذلك عندما تتقدم الخلايا في العمر ، وعند ارتفاع حموضة البيئة ، وعند المعاملة بإنزيم Ribonuclease ، علاوة على أنه إذا سحقت الخلايا الموجبة لجرام مع برادة الزجاج لتكسير جدرانها فإن بقايا الخلايا المهشمة تفقد إيجابيتها لجرام .

وللجدار الخلوي دوراً واضحاً في تفاعل جرام فإن جدر بعض الخلايا الموجبة لجرام يمكن أن تذاب تماماً بواسطة إنزيم Lysozyme ، فإذا صبغت

مثل هذه الخلايا بصبغة جرام ثم عوملت بالإنزيم فاين البروتوبلاست يظل محتفظاً بالصبغة مما يدل على أن الخلية نفسها وليس الجدار هو مكان تفاعل جرام في حين أنه يمكن أن يزال اللون من البروتوبلاست عن طريق الغسيل بالكحول مما يدل على أن جدار الخلايا الموجبة لجرام يمثل حاجزاً Barrier يمنع غسيل معقد الصبغة Day complex للخارج .

التركيب الكيماوى Chemical composition

التركيب الكيماوى للجدار الخلوى البكتيرى هو المسئول عن صلابته حيث أن الهيكل الأساسى للجدار الخلوى البكتيرى يتكون من الميكوببتيد Mucopeptide الذى يطلق عليه ميورين Murein أو Peptidoglycan . وأن نسبته فى الجدار يتراوح بين ٥٠ - ٨٠ % فى معظم البكتيريا الموجبة ومن ١ - ٥ % فى البكتيريا السالبة لجرام . كما أنه لا يوجد فى البكتيريا المحبة للملوحة Halobacteria . و'ميكوببتيد المحضرة والمفحوصة من كل المصادر تحتوى على نوعين من السكريات الأمينية وهما حمض أستيل ميوراميك N-acetylmuramic acid والأسيتايل جلوكوز أمين N-acetylglucosamine مع وجود عدد محدود من الأحماض الأمينية فى روابط ببتيديية وهى L-alanine و D-glutamic acid و Diamionopimelic acid و L-lysine .

ويعتقد حالياً أن تركيب الميكوببتيد ما هو إلا سلسلتين من السكريات الأمينية كل منها تتكون من الأسيتيل جلوكوز أمين بالتبادل مع حمض الأسيتيل ميوراميك ، وهاتين السلسلتين هى فى الواقع سلاسل من عديدات التسكر قد تتصلان عرضياً بواسطة سلسلتين قصيرتين من عديدات الببتيد ذات عدد معين من الأحماض الأمينية السابق ذكرها . وفيما يلى وصفاً موجزاً للتركيب الكيماوى للجدر الخلوية سواء للبكتيريا الموجبة أو السالبة لجرام .

أ- البكتيريا الموجبة لجرام Gram positive bacteria

أما البكتيريا الموجبة لجرام فيقل محتوئ جدرها من الدهون أو لا توجد إطلاقاً باستثناء *Mycobacteria* فإن ٦٠ % من الوزن الجاف من الجدار يكون دهون وتحتوى على نسبة عالية من السكريات الأمينية ١٥ - ٢٠ % وعلى عدد محدود من الأحماض الأمينية . معظم الجدر الخلوية الموجبة لجرام عبارة عن طبقات متراسة فوق بعضها من الميكوبييتيد وتتصل كل طبقة بالتى هى أعلى منها والتى هى أسفل منها بواسطة سلاسل قصيرة من عديدات البييتيد وبذلك يتكون تركيب قوى صلب . وأن طبقة الميكوبييتيد فى البكتيريا الموجبة لجرام تعتبر متجانسة وعادة تكون أكثر سمكا من كل الطبقات فى البكتيريا السالبة لجرام . وبالإضافة للميكوبييتيد التى تمثل ٥٠ % من الوزن الجاف للجدار فإن معظم البكتيريا الموجبة لجرام تحتوى على مركب إضافى هو *Teichoic acid* ، والتركيب الشائع منه هو عبارة عن تكرار لوحدات من الجاليسيرول المرتبط بالـ *D-alanine* والفوسفات أو قد يكون تكرار لوحدات من الريبيتول *Ribitol* مرتبط مع الجلوكوز و *D-alanine* .

ويلاحظ أن الـ *Teichoic acid* عامل غير مهم فى صلابة الجدار الخلوى ، وعند فحص قطاعات رقيقة من الجدر الخلوية للبكتيريا الموجبة لجرام بالمجهر الإلكتروني لم توضح وجود طبقة منفصلة من هذا المركب وعلى ذلك فعند وجوده يكون ضمن تركيب طبقة الميورين .

ويوجد إنزيم يمكن تحضيره من بياض البيض يعرف باسم الليزوزيم *Lysozyme* يحلل الرابطة (B 1-4) بين الأسيتيل جلوكوز أمين وحمض الأسيتيل ميوراميك وأن بكتيريا مثل *Bacillus megaterium* يمكن تحليلها *Lysed* بواسطة هذا الإنزيم ما لم تتم المعاملة فى *Hypertonic medium* حيث ينوب الجدار الخلوى ويظهر البروتوبلاست . كذلك يعمل وجود البنسلين فى الوسط الغذائى على منع تكون الجدار الخلوى وكذلك يؤدى نفس الغرض (١٠٠)

غياب العناصر الغذائية الضرورية لبنائه . وتحليل الميكوببتيد يؤدي إلى غياب الجدار الخلوي ولن البروتوبلاست يظل محاطاً بالغشاء البروتوبلازمي والذي يتخذ الشكل الكروي والذي يسمى سفروبلاست Spheroplast نظراً لإستدارته وإتخاذه شكل الدائرة . ومن المحتمل أن تكون هذه الأجسام قادرة على القيام بعمليات البناء الحيوي بالرغم من عدم إستطاعتها تكوين الجدار الخلوي .

ب- البكتيريا السالبة لجرام Gram negative bacteria

وعموماً فإن جدر البكتيريا السالبة لجرام تحتوي على نسبة عالية من الدهون تبلغ ١٠ - ٢٠ % من الوزن الجاف للجدار ، وسكريات أمينية بنسبة منخفضة تتراوح بين ٢ - ٥ % من الوزن الجاف للجدار ، وتحتوي على عدد كبير من الأحماض الأمينية التي توجد في البروتينات . يحتوي الجدار الخلوي في البكتيريا السالبة لجرام على طبقة الميورين (الميكوببتيد) ولكنها أقل في السمك بكثير من الموجودة في جدر الخلايا الموجبة لجرام . كما أن طبقة الميورين في جدر الخلايا السالبة لجرام تكون غالباً من طبقة رقيقة ولكنها تمثل ١٠ % من الوزن الجاف للجدار . والبكتيريا الوحيدة السالبة والتي سجل أنها تحتوي على Teichoic acid هي *E. coli* . والبكتيريا السالبة لجرام تحتوي جدرها أيضاً على طبقة من Lipopolysaccharide و Lipoprotein و Phospholipid تحيط بطبقة الميورين . وطبقة الـ Lipopolysacchride تغطي كل طبقة الميورين .

ثانياً : البروتوبلاست Protoplast

إن كل ما يقع بداخل الجدار الخلوي يعرف باسم البروتوبلاست . وكما سبق أن بينا أنه يمكن عزل البروتوبلاست سليماً ، كما يمكن الاحتفاظ به في حالة ثابتة نامياً في بيئات ذات ضغط أسموزي منتظم . والبروتوبلاست يشمل الآتي :

١- الغشاء السيتوبلازمي The cytoplasmic

ويسمى أيضاً بالـ Protoplasmic membrane or plasma membrane وهو يقع تحت الجدار مباشرة وسمكه حوالي 5 nm ولا يشاهد بطرق الصبغ العادية ولكن يمكن إثبات وجوده أما عن طريق جعل المحتويات الخلوية تتكمش بعيداً عن الجدار ، أو بالصبغ بطرق خاص ، أو بالطرق الحديثة باستعمال الميكروسكوب الإلكتروني .

وهو غشاء شبه منفذ Semipermeable له دوراً أساسياً في حماية الخلية وحفظ كيانها وله نفاذية إختيارية Selective membrane حيث يتحكم في مرور المواد الغذائية وكذلك نواتج النمو من وإلى الخارج . وأي ضرر لهذا الغشاء بطريقة فيزيائية أو كيميائية قد يؤدي إلى موت الخلية وقد لا يمكن التعرف على الضرر الحادث مورفولوجياً كما لا يمكن الاستدلال عليه ميكروسكوبياً . وأي تغيير يحدث في الغشاء السيتوبلازمي يفقده القدرة على التحكم في مرور المواد وبذلك فإن مواداً حيوية قد تخرج خارج الخلية وأن مواداً أخرى قد تكون ضارة تدخل الخلية . وعادة يتركب الغشاء السيتوبلازمي من دهون فسفورية Phospholipids وبروتين وهو يمثل حوالي 10 - 20 % من الوزن الجاف للخلية . علاوة على ذلك يخرج من الغشاء السيتوبلازمي الأسواط المسنولة عن حركة الخلايا ويوجد فيه الصبغات الخاصة بالتمثيل الضوئي .

والغشاء السيتوبلازمي يحتوى على عديد من الأنشطة الإنزيمية مثل النظم السيتوكرومية Cytochrome systems وعديد من الإنزيمات المزيلية للأيدروجين Dehydrogenases . وعلى ذلك فإن معظم تفاعلات الأكسدة البيولوجية والإختزال تتم في هذه الأغشية وذلك لإنتاج الطاقة . ومن الوظائف الرئيسية للغشاء البروتوبلاستي تخليق الجدار الخلوي لإحتوائه على الإنزيمات المسنولة عن ذلك . وله دوراً فعالاً في عملية النقل النشط Active

transport للمواد المختلفة مثل الأحماض الأمينية والسكريات والمعادن التي تحتاجها الخلية بتركيز أعلى داخل الخلية من تلك التركيز الموجود خارجها .

Chondrioides

Mesosomes - ٢

معظم البكتيريا الموجبة لجرام وقليل من السالبة لجرام تحتوي على أجسام غشائية تسمى Peripheral bodies ذات أغشية مختلفة غالباً ما تكون امتدادات من انغشاء البزوتوبلاستي وتوجد بالقرب من المنطقة النووية أو عند مكان منطقة تكوين الجدار العرضي خاصة وقت انقسام الخلية ، وقد يدل ذلك على أن تكوين الحاجز العرضي عند انقسام الخلية يعتمد على وجود Mesosomes التي تعتبر أيضاً مكان لانزيمات تنفس الخلية وإنتاج الطاقة. كذلك وجد أن لها دوراً خاصاً في تكوين الجدار العرضي في البكتيريا الموجبة لجرام . علاوة على أنها تعتبر مركزاً للتحكم في الانقسام الخلوي المنتظم . كذلك أوضحت بعض الأبحاث أن للميزوسوم دوراً في تكوين الجراثيم للخلايا البكتيرية المكونة لها .

ولا توجد أدلة قاطعة للتأكد من أن هذه هي وظائفها الحقيقية ولكن توجد بعض الأدلة على الوظيفة الأولى وهي الأساسية وذلك لقدرتها على ترسيب Formazans وهي الصورة المختزلة لمركبات التيترازوليم Tetrazolium وهي في ذلك تشبه الميتوكوندريا .

٣- المواد النووية Bacterial nuclei

إن إمكانية مشاهدة الجهاز الوراثي النووي بالخلية البكتيرية Chromatin bodies أصبح الآن من الأمور السهلة بعد أن كان من المتعذر في الماضي . ومما يزيد صعوبة تمييز الأجسام النووية في خلايا البكتيريا في الماضي هو الاعتقاد بضرورة وجود النواة داخل حدود معلومة كما هو الحال في خلايا النباتات والحيوانات حيث يوجد غشاء نووي ونوية وسائل نووي . وقد تمكن بعض الباحثين من صبغ DNA في الأجسام النووية ومشاهدته وهو في حالات مختلفة من الانقسام

بعد معاملة الخلايا معاملة خاصة لتخليصها من المحتويات النووية الأخرى مثل RNA والتي لا تمت إلى النواة بصله والتي كانت تختلط في مظهرها بعد الصبغ مع الأجسام النووية . وبعد إزالة هذه المحتويات يمكن مشاهدة الجهاز الوراثي النووي بعد صبغه بالصبغات المتخصصة مثل صبغة Feulgen . وفي الصور الإلكترونية يمكن أن تظهر الأجسام الكروماتينية كمناطق شفافة أى قليلة الكثافة لها شكل غير منتظم خلال السيتوبلازم . وقد لمكن حديثا عن طرق الميكروسكوب الإلكتروني إظهار أن النواة في البكتيريا عبارة عن شريط مزدوج يتكون من DNA عارى وقد يتخذ هذا الشريط المزدوج شكل حلقة مغلقة . وأن محتوياته من الجينات تمثل وحدة عبورية مفردة . وقد نشاهد بداخل الخلية الواحدة أكثر من وحدة دائرية أو كروموسوم دائري واحد . إذن فما نشاهده من محتويات نووية لا يمكن مساواته بأى حل من الأحوال بكروموسومات الكائنات الأرقى حيث أنها تنقسم مباشرة دون المرور فى أطوار Mitosis أو Meiosis.

ومن المعروف أن نسبة الـ Cytosine (C) + Guanine (G) فى الـ DNA تعتبر صفة ثابتة للنوع البكتيرى وتتراوح بين ٢٢ % لبعض انواع من الميكوبلازما إلى ٧٤ % فى بعض البكتيريا .

٤ - الإبيسومات والبلازميدات Episomes and Plasmids

يطلق إصطلاح Episomes على تركيبات عبارة عن أجزاء من الـ DNA والتي قد توجد فى الخلية البكتيرية خارج الكروموسوم البكتيرى . وفى هذه الحالة تكون قادرة على تكرار نفسها مستقلة عن تكرار الكروموسوم البكتيرى ، وفى بعض الأحيان قد تتصل بالكروموسوم وفى هذه الحالة لا تتكرر إلا عند حدوث تكرار للكروموسوم . وقد تلعب هذه الأجزاء دورا هاما فى نقل المادة الوراثية بين البكتيريا مثل عامل الخصوبة F-factor الموجود فى البكتريا E. coli K-12 . كما يطلق اسم الـ Plasmids على العناصر الوراثية DNA التى توجد فى السيتوبلازم ولا ترتبط بالكروموسوم ولا تدخل فى تركيبه .

٥- الريبوسومات Ribosomes

يطلق هذا الاسم على الحبيبات ذات القطر من ١٠ - ٢٠ nm والتي تتكون من بروتين وحمض ريبيونيوكلريك RNA-Protein particles وتسمى Ribonucleoprotein وهي التراكيب التي يتم عليها بناء البروتين . والريبوسومات البكتيرية من النوع 70 S ribosomes . وتتكون الريبوسومات من وحدتين 30 S و 50 S حيث يتم إتحادها أثناء بناء البروتين .

٦- حوامل الألوان Chromatophores

تحتوي البكتيريا الممثلة للضوء على صبغات وكذلك إنزيمات تختص بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية . وتحمل هذه الصبغات والإنزيمات في تراكيب خاصة ذات أغشية تسمى حوامل الألوان كما في بكتيريا الكبريت للقرمزية التابعة لعائلة Chromatiaceae وبكتيريا الكبريت غير القرمزية التابعة لعائلة Rhodospirillaceae . وهذه الأغشية عبارة عن امتدادات من الغشاء السيتوبلازمي بأشكال مورفولوجية مختلفة فتكون في بعض البكتيريا على صورة حويصلات Vesicle أو على صورة أجسام انبوبية أو على هيئة طبقات مترابطة . وجهاز التمثيل الضوئي في بكتيريا الكبريت الخضراء Chlorobiaceae يوجد في صورة أكياس داخلية Internal sacs وتسمى Chlorobium vesicles وهذه الأكياس ليست امتدادات للأغشية السيتوبلازمية لذلك فهي لا تحاط بأغشية بل تحدد من الخارج بطبقة واحدة من الكلوروفيل تقوم بعمل وتمثل سطحها الخارجي

٧- السيتوبلازم Cytoplasm

وهو يشبه سيتوبلازم أي خلية أخرى حيث يحتوي على نسبة تتراوح بين ٧٠ - ٨٠ % ماء . ويصعب تخصيص أو تحديد هذا الجزء الخلوي ولكن يمكن التأكد على أن هذا الجزء يشتمل على أكثر من ٥٠ % من بروتين الخلية . وكذلك يحتوي على معظم النظم الإنزيمية بالخلية . هذا علاوة على ما يحتويه من مواد غذائية ذائبة لذلك فهو يوجد في حالة غروية.

٨- المحتويات السيتوبلازمية Cytoplasmic inclusion

وتسمى أيضاً بالمواد المخزنة Storage materials حيث يتراكم فى السيتوبلازم مواد مخزنة عند ما تنمى البكتيريا تحت ظروف بيئية معينة وهى حبيبات الجليكوجين Glycogen وقطرات الدهون Lipid droplets و Polymerized inorganic metaphosphate وهذه لا توجد عادة خلال فترة النمو النشط . أما حبيبات الكبريت Sulfur granules فهى تعبر ضرورية كمخزن للطاقة فى بكتيريا الكبريت غير الممثلة للضوء ومن هذه المواد المخزنة الآتى :

أ- حبيبات الجليكوجين Glycogen granules

تظهر هذه الحبيبات Granulose مثل كرات شفافة بدون غشاء فى الصور الإلكترونية وسكوبية وقد تصل إلى ٥٠ % من الوزن الجاف . وتميل للتراكم تحت ظروف من نقص النيتروجين حيث تم دراستها فى البكتيريا *E. coli* وعندما تزداد المواد النيتروجينية فإن الجليكوجين المتراكم يستهلك ويستعمل كمصدر للكربون .

ب- حبيبات الدهون Lipid droplets

وهذه الحبيبات توجد فى عديد من أنواع جنس *Bacillus* وتعتبر ناتج تخزينى ويمكن صبغها بصبغات معينة مثل Sudan black .

ج- حبيبات الفوليوتين Volutin granules

وحبيبات الفوليوتين تميل للتراكم عند نهاية نورة النمو وتختفى من السيتوبلازم إذا نقلت الخلايا إلى بيئة جديدة . وهى تتكون من Metaphosphate غير عضوية وهى تسمى أيضاً Metachromatic granules

د- حبيبات الكبريت Sulfur droplets

فى بعض البكتيريا يحدث ترسيب للكبريت داخل الخلايا عقب التمثيل الضوئى كما يحدث فى بعض بكتيريا الكبريت .

الفصل السادس :

حركة وتجراثم الخلية البكتيرية

حركة وتجثم الخلية البكتيرية

Motility and sporulation of bacteria cell

أولاً : الحركة البكتيرية Bacterial motility

معظم البكتيريا المتحركة Motile bacteria تمتلك أعضاء دقيقة وطويلة يطلق عليها أعضاء الحركة وتسمى الأسواط Flagella مفردتها Flagellum . وقد لوحظت القدرة على الحركة في البكتيريا التي لا تمتلك أعضاء للحركة مثل البكتيريا الهلامية *Myxobacteria* والبكتيريا الزاحفة مثل جنس *Beggiatoa* وجنس *Thiothrix* إلا أن سرعه هذه البكتيريا المفتقرة إلى أعضاء الحركة تعتبر متوسطة نسبياً إذ أنها لا تتجاوز ١٠/١ سرعة البكتيريا ذات الأسواط حيث أنها متحركة حركة إنزلاقية بطيئة على الأسطح الصلبة .

والأسواط هي خيوط دقيقة جداً من بروتين يسمى Flagellin تخرج من السيتوبلازم خلال الجدار الخلوي وينشأ السوط غالباً من جسم إسطوانى يسمى الجسم القاعدى Basal body خلال السيتوبلازم . وسماك السوط يتراوح من ١٢ إلى ٣٠ nm وقد يصل طوله إلى ١٠ µm . ولا يشاهد السوط بالميكروسكوب الضوئى إلا بطرق صبغ خاصة حيث يعامل الغشاء أولاً بمعمق للون Mordant وغالباً يكون محلول غروى غير ثابت والذي يرسب طبقة سميكة لمادة قابلة للصبغ فوق سطح الخلايا والأسواط . ويصبغ الغشاء بعد ذلك بصبغة مناسبة . وهذه المادة المرسية تظهر بالميكروسكوب الضوئى كخيوط مصبوغ والذي يمثل السوط نفسه . وأحسن طريقة لتحديد عدد الأسواط وتوزيعها على الخلية هو استعمال الميكروسكوب الإلكتروني .

والسوط يكون متموج وطول الموجة غالبا يكون ثابتا للسلالة البكتيرية الواحدة ويوجد توزيعان أساسيان للأسواط .

١- توزيع طرفي أو تسوط طرفي وفيه تحمل الأسواط عند طرف أو طرفي الخلية Polar flagellation ، وقد يكون عديد من الأسواط عند طرف أو طرفي الخلية Polar multitrichous flagellation ، أو سوط واحد عند الطرف أو الطرفين Polar monotrichous flagellation .

٢- توزيع جانبي أو تسوط جسمي وفيه توجد الأسواط موزعة عند عدة نقاط على إمتداد جوانب الخلية Peritrichous flagellation . ولقد وصف (1960) Leifson توزيع الأسواط على سطح الأنواع المختلفة من البكتيريا حيث يوجد تسوط طرفي Polar وفيها تكون قاعدة السوط موازية للمحور الطولي للخلية وقد تكون وحيدة التسوط Monotrichous أو عديدة التسوط Multitrichous . أو تسوط تحت طرفي Subpolar ويوجد سوط واحد أو أكثر بالقرب من الطرف ، ونجد أن قاعدة السوط متعامدة مع المحور الطولي لجسم الخلية وقد تكون وحيدة التسوط Monotrichous أو عديدة التسوط Multitrichous . كذلك توجد بكتيريا جانبية التسوط Lateral وفيه تكون قاعدة السوط متعامدة على محور الخلية أيضا ، وقد تكون وحيدة التسوط Monotrichous وفيه يوجد السوط دائما على النصف الوسطي للخلية أو عديدة التسوط Multitrichous وفيه يوجد عدة أسواط أو خصلة من الأسواط على النصف الوسطي للخلية . وهناك جسمية التسوط Peritrichous وفيه توزع الأسواط عشوائيا ما عدا الأطراف . أو مختلطة Mixed وفيه تحمل الأسواط على أطراف وجسم الخلية وجوانبها .

والأسواط تنشأ فى وقت واحد ومن خلال الغشاء السيتوبلازمى ، وقد ثبت ذلك من أن الأسواط تظل متصلة بالسيتوبلازم عندما تزال الجدر الخلوية الحساسة عند معاملتها بإنزيم Lysozyme .

ويتكون السوط من ثلاثة أجزاء ، الجزء الذى يظهر فى التحضيرات المصبوغة وهو الخيط Filament وهو من ألياف من البروتين ويمكن الحصول على معلق من هذه الخيوط عند pH 3 - 4 ، وعند معاملته بأى Detergent فإن هذه الخيوط تعطى بروتين ذائب يسمى Flagellin وهذا البروتين يختلف فى التركيب الكيماوى بين الأنواع البكتيرية ولكن يتميز ببعض الصفات الثابتة مثل غياب Gysteine وإحتوائه على كميات قليلة من الأحماض الأمينية الحلقية وكميات كبيرة من حمض الجلوتاميك وحمض الأسبارتيك . الجزء الثانى فى السوط وهو الخطاف Hook ، وهو التركيب الذى يخترق الجدار الخلوى ويصل الخيط بالجسم القاعدى وهو عبارة عن تركيب ملتوى ومن المحتمل أنه يتكون من ألياف من البروتين .

الجزء الثالث فى السوط هو الجسم القاعدى Basal body ، وهو الذى يربط الخطاف والخيط بالغشاء السيتوبلازمى . وفى البكتيريا السالبة لجرام فإن الجسم القاعدى يتكون من زوجين من الحلقات يتصلان بقضيب يستمر فى داخل الخطاف . ويتعقد أن الحلقة الداخلية الأخيرة لزوج الحلقات القريب من مركز الخلية ترتبط بالغشاء السيتوبلازمى ، أما الحلقة الداخلية من زوج الحلقات البعيد عن مركز الخلية فيحتمل أن تكون متصلة بطبقة الميورين Murein فى الجدار الخلوى . أما فى الخلايا الموجبة لجرام فإن الجسم القاعدى يتكون من زوج من الحلقات . والحلقة القريبة من مركز الخلية ترتبط بالغشاء السيتوبلازمى وغالباً لا يوجد إتصال مميز مع الجدار الخلوى . ووجد أنه فى بعض البكتيريا مثل *Spirillum* sp. يوجد غشاء

قطبي Polar membrane (Polar plate) داخل الغشاء السيتوبلازمي وأن الجسم القاعدي قد يكون متصل بهذا الغشاء القطبي .

والأسواط كما سبق أن ذكرنا هي أعضاء الحركة الحقيقية في البكتيريا وهي تحرك الخلية في البيئات السائلة والأغشية الرقيقة من السوائل فوق السطوح الصلبة . والطريقة التي تتحرك بها الخلايا عن طريق الأسواط هي نتيجة لانقباض وانفراج الجزيئات البروتينية المكونة للسوط نفسه وينتج عن ذلك حركة للسوط تشبه التموج وبذلك تجذب أو تدفع الخلية للأمام أو إلى الخلف . وتفسر حركة الخلية عن طريق الأسواط بإفترض أن خيط السوط ليس له أي دور في الحركة ، وأن الحركة تنشأ نتيجة لحركة الجسم القاعدي المتصل بالغشاء السيتوبلازمي حركة دائرية من جانب إلى جانب ، وأن الخطاف والذي يعتبر تركيب صلب ينقل هذه الحركة التوجيهية إلى الخيط لينتج عن ذلك مخروط من الحركة الدائرية A cone of revolution ودوران الخيط نفسه يدفع الخلية إلى الأمام .

وتتحرك الأسواط بسرعة مرتفعة جداً وتتسبب في حركة البكتيريا على معدل يزيد عدة مرات على طولها في الثانية الواحدة . وقدرت حركة أسواط البكتيريا *Spirillum* sp. بمعدل يصل إلى ٢٤٠٠ لفة في الدقيقة . وقد قدرت سرعة معظم الأنواع البكتيرية فوجد أنها ٥٠ μ / ثانية ، إلا أن البكتيريا المسوطة طرفياً مثل البكتيريا *Vibrio* sp. تتحرك بسرعة أكبر كثيراً تصل إلى ٢٠٠ μ / ثانية . من ذلك نرى أن الخلية يمكنها أن تتحرك بما يعادل خمسون مرة قدر طولها في الثانية .

حركة البكتيريا التي تفتقر للأسواط Motility of unflagellated bacteria تتميز أفراد البكتيريا الهلامية *Myxobacteria* وأفراد الجنس *Beggiatoa* بالحركة الإنزلاقية Gliding movement . ومن الملاحظ أن

هذه الحركة تحدث فقط فوق السطوح الصلبة ولا تحدث في البيئات السائلة . وقد تتم الحركة نتيجة للإنقباضات التي تحدث لطبقة البروتوبلازم الرقيقة الموجودة تحت الجدار . وهناك تفسير آخر لحركة هذه الكائنات يعتمد على قدرة خلاياها على إفراز كميات قليلة من المواد الهلامية .

أما الإسبيروكيتات *Spirochaetes* فهي بكتيريا وحيدة الخلية حلزونية الشكل ذات جدر مرنة نسبياً . والخلية تتكون من إسطوانة بروتوبلازمية يلتف على جسمها واحد أو أكثر من اللويقات المحورية Axial fibrils والتي تنشأ من أقراص تحت طرفية توجد عند طرفي الإسطوانة البروتوبلازمية . اللويقات المحورية تماثل الأسواط في تركيبها . الأطراف السائبة لهذه اللويقات المحورية قد تمتد خارج طرف الإسطوانة البروتوبلازمية معطية مظهر الأسواط الطرفية الكاذبة . واللويقات المحورية هذه لا تعتبر أعضاء للحركة في الإسبيروكيتات . وقد وصفت في هذه الكائنات ثلاثة طرز من الحركة هي حركة دائرية سريعة على طول محور الخلية ، حركة دودية ، و تحرك الخلية نفسها بطريقة تشبه حركة بريمة .

وهناك حركة كاذبة للخلايا البكتيرية تسمى بالحركة البروانية Brawning movement والتي تحدث لخلايا البكتيريا في الأوساط السائلة نتيجة تصادم الخلايا بجزيئات السائل .

ويعتقد أن أنواعاً أخرى من البيلي يكون أعضاء للإلتصاق ، فإن سلاسل البكتيريا التي تمتلك البيلي تكون أقدر على الإلتصاق بالخلايا الحيوانية والنباتية وكذلك على سطوح البيئات التي تعيش عليها .

ثانياً : التجثم البكتيري Bacterial sporulation

التجثم Sporulation عملية تلجأ إليها بعض أنواع البكتيريا عند التعرض لظروف غير مناسبة أو عندما تكبر الخلية في العمر وذلك بإنتاج

جراثيم سواء داخل الخلية Endospores أو خارج الخلية Exospores .
وظيفة التجرثم هو القدرة على تحمل الظروف البيئية غير المناسبة للنمو
والإنقسام . والجراثيم الداخلية تتكون بتكوين جدر رقيقة للجراثومة داخل كل
خلية ويستعمل موقع وشكل الجراثومة الداخلية فى عملية تقسيم البكتيريا .

و ٢- *Bacillus* و ٣- *Clostridium* و ٤- و ٥- و ٦- و ٧- و ٨-
Sporosarcina و ٩- و ١٠- . أفراد جنس *Bacillus* هوائية توجد بكثرة فى
بعض الأجناس البكتيرية ذات الخلايا العصوية المستقيمة التابعة لأجناس

Sporolactobacillus و *Desulphotomaculum* و *Oscillospora*
و *Sporohalobacter* و *Sulfidobacillus* و *Syntrophospora*
و *Amphibacillus* و *Clostridium* و *Bacillus* لها القدرة على إنتاج جراثيم
داخلية . كما أن بعض البكتيريا الكروية مثل جنس *Sporosarcina* يمكنها أيضاً
إنتاج هذا النوع من الجراثيم.

فسيولوجيا التجرثم Physiology of sporulation

للجراثيم الداخلية خواص فسيولوجية مميزة مثل مقاومتها للظروف
البيئة عن الخلايا الخضرية ومقاومتها للحرارة العالية وبعض الإشعاعات
ذات الموجات القصيرة والمواد الكيماوية السامة والجفاف ويمكنها أن تبقى
ساكنة لمدة طويلة . ويبدو أن التجرثم يبدأ عندما تعاني الخلايا نقصاً غذائياً
فوجود الجلوكوز كمصدر طاقة بالبيئة يصاحبه دائماً تثبيط لعملية التجرثم
كما لوحظ أيضاً أنه عندما يكون النيتروجين متاح محددًا تزداد فرصة
التجرثم . كذلك وجد أن نقص الحمض الأميني الألاتين ينبه حدوث التجرثم
فى بعض سلالات البكتيريا مثل *Bacillus mycoides* وعلاوة على التغذية
فإن التهوية لها تأثير أيضاً فى عملية التجرثم فقد وجد أن نقص الأكسجين
يسبب تجرثم بعض سلالات *B. megaterium* أيضاً هناك بعض المواد

اللازم توافرها فى البيئة الغذائية حيث تحتاج أنواع *B. subtilis* لأيونات المنجنيز والكالسيوم ونقص هذه المواد فى البيئة يسبب التجثم .

ويعزى سبب مقاومة الجراثيم للحرارة إلى قلة محتواها المائى علاوة على أن كمية الماء القليلة الموجودة تكون مرتبطة بالبروتينات بعكس الماء فى الخلية حيث يكون حراً . كذلك يعلب وجود ملح الكالسيوم لحمض Dipicolinic دوراً رئيسياً فى المقاومة الحرارية . هذا ويعتبر تواجد حمض السستين من الأهمية بمكان لتخليق الغلاف الجرثومى .

وتكون البكتيريا نوعين من الجراثيم نوع يتكون خارج الخلية والآخر يتكون داخل الخلية الخضرية ، وفيما يلى مختصر عن كل منهما :

أولاً : الجراثيم الخارجية Exospores

وتكونها أفراد رتبة Actinomycetales كذلك بعض أنواع بكتيريا الميثان التى تمتاز بتكوين جراثيم خارجية تعرف بالكونيديات conidia والتى قد تكون مفردة أو فى سلاسل . ولهذا الغرض تتخصص بعض هيفات الميسليوم وتصبح هذه الهيفات هوائية قد تكون متفرعة أو حلزونية ثم بأخذ بروتوبلازم هذه الهيفات الهوائية فى الإنقسام بحواجز عرضية تبدأ من طرف الهيفا مكونة سلاسل من الخلايا الكروية أو العصوية وعندما تتضج هذه الكونيديات يصبح كل واحد منها له القدرة على الإنبات وتكون الميسليوم متى كانت الظروف مناسبة ولذا هو وسيلة للتكاثر والانتشار أما درجة مقاومتها للظروف الغير مناسبة لا تزيد كثيراً عن الميسليوم وذلك عكس المقدرة الفائقة للجراثيم الداخلية على تحمل الظروف غير المناسبة .

ثانياً : الميكروسيست Microcyst

يطلق هذا على طور السكون عندما تتحول الخلية بأجمعها إلى حالة سكون لمقاومة الظروف الضارة فيزداد سمك جدار الخلية وتزيد نسبة المواد

المخزونة . ومقاومة الميكرومست تكون عادة أقل بكثير من مقاومة الجراثيم الداخلية وخاصة تكوين الميكرومست تكون شائعة في البكتيريا الهلامية ذات الشكل الكروي أو البيضاوي أو العصوي التابعة للـ *Myxobacterales* .

ثالثا : الميكسوسبور *Myxospore*

كما أن هناك أفراد من هذه البكتيريا الهلامية تكون نوع آخر من أطوار السكون يسمى *Myxospore* وهذه الجراثيم تكون مقاومة للظروف غير المناسبة عن الخلايا الخضرية .

رابعا : الجراثيم الداخلية *Endospores*

ويلاحظ أنه يوجد أيضاً بعض البكتيريا الكبيرة الحجم نسبياً يمكنها أن تكون جراثيم داخلية مثل التي تعيش في المحتويات المعوية للحيوانات . فشوهت أجساماً بيضية كبيرة الحجم تشبه الجراثيم الداخلية في خلايا خيوط البكتيريا *Oscillospira* التي تعيش في أجسام أرانب التجارب . والخيوط تتحرك بسرعة بأسواط جسمية . وغالباً تتكون بالخلية الواحدة جرثومتان أو أكثر . كما لوحظ أيضاً في البكتيريا *Metabacterium polyspora* والتي تعيش في أمعاء الحيوانات الصغيرة مثل الفئران والأرانب وحيوانات التجارب أنها تكون جراثيم داخلية . ولأن كل خلية منها تحمل بداخلها عدداً من الجراثيم قد تصل إلى ٨ جراثيم .

والخلية المتجرثمة من الأنواع التابعة للجنسين *Clostridium* و *Bacillus* تكون جرثومة واحدة فقط بكل خلية الأمر الذي يجعلنا لا نعتبر عملية التجرثم هذه عملية تكاثرية ولكن يمكن اعتبارها كذلك إذا تكونت بالخلية الواحدة أكثر من جرثومة كما هو الحال في بعض الأجناس مثل *Metabactrium* .

ويتميز الجراثيم بقدرتها الفائقة على كسر الضوء ومقاومتها للصبغ بصبغات الأنيلين القاعدية والتي تصبغ الخلايا الخضرية بسهولة ولذلك فإن لها طرقاً خاصة لصبغها . وللجراثيم الداخلية خواص فسيولوجية مميزة مثل مقاومتها للظروف البيئية غير الملائمة كمقاومتها لحرارة العالية وللجفاف والتركيزات المرتفعة نسبياً من المواد الكيميائية السامة وكذلك الإشعاع . ومقاومتها للجفاف يعطينا القدرة على السكون Dormancy لمدة طويلة حيث أنه خلال عملية التجثم تزيد عملية dehydration process وبالتالي تقل نسبة الماء m_w في الخلية مما يساعد على تحمله للظروف السيئة . وبعض الجراثيم الداخلية المقاومة للحرارة فيلزم لقتلها حرارة مرتفعة تصل إلى $120^{\circ}C$ (بحر تحت ضغط) لمدة 15 - 20 دقيقة . وقليل من الجراثيم تقتل على درجة غليان الماء تحت الضغط الجوي العادي لمدد قصيرة . كما أن منها ما يقتل بالتعرض إلى $58 - 60^{\circ}C$ لمدة 30 دقيقة تماماً كالأغذية الخضرية .

وعموماً فإن الجراثيم يمكن اعتبارها مرحلة ساكنة للخلية الأم . وهي تستطيع أن تعيش لعشرات السنين في غياب مصدر غذائي خارجي نظراً لانخفاض الشدائد أو لإنعدام نشاطها الأيضي Metabolic activity . وعندما يتوفر للجراثيم وسط غذائي مناسب فإنها تثبت وتكون خلية خضرية عادية قادرة على النمو والانقسام الخلوي . ومقاومة الجراثيم للحرارة تتيح الفرصة لعزل البكتيريا المتجثمة بطريقة إنتخابية من المصادر الطبيعية ، وذلك عن طريق بستره محاليل مائية من المصدر الطبيعي وهذا يقضى على الخلايا الخضرية تاركاً الجراثيم.

تكوين الجراثيم الداخلية Formation of endospores

تحدث عملية تكوين الجراثيم الداخلية على خطوات ويبدو أن الوقت الكلى لتكوين الجراثيم يستغرق حوالي 8 ساعات ويلاحظ عدم تكرار

كروموسوم - هي وهي لذلك تختلف عن إنقسام الخلية حيث يتحول DNA إلى خيط طويل وهذا الخيط يتصل بالغشاء الخلوي بواسطة الميزوسوم Mesosome ثم ينفصل حمض DNA إلى كروموسوم فردي أي خيطين إحداهما يذهب إلى طرف الخلية . بعد ذلك ينمو الغشاء الخلوي من الخلية الأم حول الجرثومة المتكشفة والتي تحاط بغشاء مزدوج . تتكون القشرة cortex من الميكوببتيدات بين الغشائين ويتم تخليق حمض Dipicolinic acid ويتم أخذ أيونات الكالسيوم والسستين ثم يتكون الغلاف الجرثومي بطبقاته المختلفة ويبدأ تكوين الإكسوسوريوم وتصبح الجراثيم المتكشفة قادرة على كسر الضوء . ثم تزداد طبقات الغلاف الجرثومي سمكاً وتصبح أقل مقاومة للحرارة وذات قدرة عالية على كسر الضوء ومقاومة للصبغ وقد تتحلل بقايا الخلية الخضرية وتتحلل الجرثومة .

التركيب الداخلي للجرثومة Internal structure of spore

بفحص قطاعات رقيقة للجراثيم البكتيرية بالميكروسكوب الإلكتروني يظهر فيها التراكيب الآتية من الداخل إلى الخارج :

١- الخلية الجرثومية Germ cell وهي عبارة عن سيتوبلازم الجرثومة وبه غالباً كروموسوم واحد وبعض الريبوسومات محاطاً بغشاء داخلي Inner membrane .

٢- جدار الجرثومة Spore wall ويتركب من الميورين (N-acetylglucosamine + N-acetylmuramic acid) ، وهذا الجدار سيصبح الجار الخلوي للخلية الخضرية الجديدة عند إنبات الجرثومة .

٣- القشرة Cortex وتكون نصف حجم الجرثومة وتحتوي على داي بيكولينات الكالسيوم Calcium dipicolinate مختلطة بالميورين . وهذه الطبقة هي المسئولة عن المقاومة الحرارية وذلك لإحتوائها على تركيز

عالي من ملح الكالسيوم لحمض Dipicolinic بنسبة تصل إلى ١٥ % من الوزن الجاف للجرثومة .

- ٤- الغشاء الخارجى Outer membrane وهو غشاء يحيط بالقشرة .
- ٥- الغلاف الجرثومى Spore coat وهو يعطى للجرثومة شكلها ويتكون من طبقتين أو ثلاث طبقات ، وهو يحمى الجرثومة من فعل الإنزيمات المحللة Hydrolytic enzymes . ويتركب الغلاف بطبقاته من عديدات الببتيد polypeptides أو من البروتين المقاوم لفعل الإنزيمات المحللة للبروتين Proteolytic enzymes وكذلك المقاوم لفعل إنزيم الليزوزيم Lysozyme . ويلزم وجود السستين Cystine فى البيئة لتخليق الغلاف الجرثومى .
- ٦- الإكسوسبوريم Exosporium هو طبقة أو تركيب خارجى يظهر فى شكل غشاء رقيق قد يكون ملاصقا أو غير ملاصق للجرثومة وهو بذلك تركيب خارجى سائب غير منفذ لكثير من المركبات . ويحتوى على بروتين دهنى Lipoprotein وكذلك سكريات أمينية Aminosaccharides والتركيب الذى يمنح الجرثومة القدرة على مقاومة الحرارة هو طبقة القشرة لإحتوائها على تركيز عالى من ملح الكالسيوم لحمض الداى بيكولينيك وقد تتراوح نسبة هذا الملح بالقشرة من ٣ - ١٥ % من الوزن الجاف للجرثومة . ويلاحظ أن كل الجراثيم البكتيرية تحتوى على كميات من حمض الداى بيكولينيك فى حين أن هذه المادة لا توجد فى الخلايا الخضرية وكذلك توجد كمية كبيرة من الكالسيوم فى الجراثيم ، ويبدو أن الكالسيوم يحدث خلال المراحل المتقدمة من تكشف الجرثومة . ويمكن أن تتكون الجراثيم الداخلية عند نمو الخلايا فى بيئة غنية بالمواد الغذائية وتصل إلى نهاية منحنى نموها (مرحلة النمو النشط) ومن العوامل التى تؤثر على التجربم لارتفاع درجة الحرارة ، الكبر فى العمر بالنسبة للخلية ، نقص الغذاء المتوفر فى البيئة .

وتكون الجراثيم الناضجة Mature spores عادة كروية أو بيضية الشكل . ويلاحظ أن موضع وجود الجرثومة بالنسبة للخلية الخضرية التي إشتقت منها يختلف في البكتيريا المتجرثمة ، فقد تكون في الطرف Terminal أو في الوسط Central أو تحت الطرف Subterminal . كما أن قطر الجرثومة قد يكون أكبر أو أصغر من قطر الخلية الخضرية ، ويختلف سمك جدر الجرثومة أيضاً باختلاف النوع . ويعتبر ما تقدم من الصفات الهامة التي تستعمل في تقسيم أنواع جنس *Bacillus* .

الأجسام المصاحبة للجراثيم Parasporal bodies

قد يصاحب عملية التجرثم داخل الكيس الجرثومي Sporangium تخليق أجسام بلورية يطلق عليها الجسم المصاحب للجراثيم . ففي حالة الخلايا المتجرثمة من البكتيريا *Bacillus thuringiensis* تحتوى على بلورة بروتينية ثمانية الشكل Octahedral shape . ويلاحظ أن كل خلية متجرثمة تحتوى على جسم واحد فقط من هذه الأجسام . وهذه الأجسام بعكس الجراثيم الداخلية تصبغ بسهولة ، وهي لا تحاط بأى غشاء أو غطاء . وقد وجد أن كميات ضئيلة من هذه المكونات البلورية تعتبر سامة جداً لكثير من الحشرات وتسبب شللاً لها وتستعمل هذه البلورات حالياً وجراثيم البكتيريا *B. thuringiensis* في المقاومة الحيوية Biological control لبعض أنواع الحشرات .

إنبات الجراثيم Spore germination

أثناء الإنبات يحدث فقد لقدرة الجراثيم على كسر الضوء وزيادة القابلية للصبغ بالطرق البسيطة وفقد المقاومة للحرارة وكذلك نقص فى الوزن الجاف . ويعزى ذلك النقص فى الوزن الجاف إلى إفراز مواد كيميائية معينة من الجراثيم وهى أيونات الكالسيوم وحمض الداى بيكولينيك والميكوببتيد . ورغم نقص الوزن الجاف فإنه يحدث زيادة فى حجم

الجرثومة ثم يتبع ذلك إنشقاق غلاف الجرثومة إما قطرياً على طول المحيط الوسطى أو طرفياً بإنشقاق الأغلفة من أحد أطراف الخلية . ومن المعروف أن الجراثيم تحتوى على كمية زائدة من نشاط الإنزيم ألانين راسيماز Alanine racemase ومن هنا يتضح دور هذا الإنزيم فى تنظيم كمية الألانين بصورتيه D و L والتي تتحكم فى عملية إنبات الجراثيم . وأن نسبة هذه المشابهات إلى بعضها تساعد فى الإحتفاظ بحالة المكون وأن أى خلل فى هذه النسبة يؤدى إلى وقف عملية الإنبات ، حيث أن صور L-alanine تشجع الإنبات وأن صور D-alanine تعطل الإنبات . ثم بعد ذلك يحدث زيادة فى حجم الجرثومة ثم ينشق الغلاف الجرثومى ويبدأ الطور الخضرى . تواصل الخلية الخضرية الناتجة إنقسامها عندما تكون الظروف مناسبة . ويبدأ الإنبات بتكوين خيط رفيع بجدار رقيق ويتكون حمض RNA حتى فى غياب المواد الغذائية اعتماداً على المخزون من الحمض فى الخلية ويبدأ تخليق البيورينات والبريميدينات فى خلال ١٥ - ٢٠ دقيقة الأولى من بداية الإنبات . وقد وجد أن بعض المعاملات الفيزيائية تنبه عملية إنبات الجراثيم مثل التسخين على درجة ٦٠°م أو الرج مع كريات زجاج أو إضافة بعض المواد المنشطة حيث وجد أن جراثيم جنس *Clostridium* يتطلب وجود كمية من غاز CO₂ فى الجو المحيط به وجنس *Bacillus* يتطلب وجود مستخلص خميرة بالبيئة وكذلك وجود الحمض الأمينى الألانين يشجع إنبات جراثيم *B. cereus* . وتعتبر مقاومة الجراثيم الداخلية أكبر من الخارجية فى بعض الأنواع فى مقاومة الحرارة العالية بزيادة نسبة ملح الكالسيوم لحمض الداى بيكولينيك وكذلك مقاومة الجراثيم للإشعاع .

الفصل السابع :

تغذية ونمو الخلية البكتيرية

تغذية ونمو الخلية البكتيرية

Nutrition and growth of bacterial cell

لولا : تغذية البكتيريا Nutrition of bacteria

تشابه البكتيريا مع غيرها من الكائنات الحية فى إحتياجاتها من الغذاء إذ لا يمكنها القيام بوظائفها الحيوية بدونها حيث يستخدم الغذاء فى بناء الخلايا والحصول على الطاقة اللازمة لمختلف الوظائف الحيوية . تحتوى معظم الخلايا الحية نباتية كانت أو حيوانية على نسبة تتراوح بين ٨٠-٩٠٪ من وزنها الرطب فى صورة ماء ، كما يشمل بروتوبلازمها على مركبات تحتوى على الكربون والإيدروجين والأكسجين والنيتروجين والفوسفور والكبريت واليوتاسيوم والماغنسيوم والكالسيوم والحديد علاوة على بعض العناصر الأخرى التى توجد بكميات ضئيلة جداً وهذه العناصر هى المنجنيز والكوبلت والنحاس والموليبدنوم والزنك . وتحصل الخلية البكتيرية على إحتياجاتها من الأملاح المعدنية على اختلافها ، وكذلك على مصادر الطاقة سواء كانت عضوية أو غير عضوية ، وكذلك مصادر البناء من البيئة التى تعيش فيها أو عليها .

ويرتبط نمو الكائنات الحية الدقيقة بوجود الماء فلا نمو الفطريات على سبيل المثال إلا فى وجود ١٢٪ على الأقل ماء ، أما البكتيريا فلا تنمو على المواد التى يقل محتواها للماء عن ٢٠٪ وترجع أهمية الماء للخلية البكتيرية إلى أنه الوسط الذى يحمل كل العناصر الغذائية للخلية إلى داخلها ، كما يحمل المواد الزائدة عن حاجتها إلى الخارج ، كما يشترك الماء فى العديد من التفاعلات الكيماوية التى تجرى داخل الخلية والضرورية لحفظ حياتها . والماء ضرورى لحفظ الطبيعة الغروية لمكونات الخلية البكتيرية وهى خاصية هامة

لحفظ حياة الكائن الحى ، كما أن الماء يمتص الحرارة المتحررة من مختلف التفاعلات التى تجرى داخل الخلية حيث أنه موصل جيد للحرارة .

وتحصل الخلية البكتيرية على الغذاء شأنها فى ذلك شأن باقى الخلايا الحية لتأدية وظيفتين أساسيتين هما إنتاج الطاقة وبناء البروتوبلازم. ويشترط فى المادة الغذائية أن تكون قادرة على الدخول إلى الخلية وأن يكون الجهاز الخلوى قادراً على إستعمالها أى يحتوى على النظم الإنزيمية لتحويلها إما إلى طاقة أو إلى بروتوبلازم .

ويلاحظ أن النبات يحصل على الغذاء اللازم له من مواد بسيطة حيث يبنى منها جسمه مستعيناً فى ذلك بالطاقة التى يستمدّها من عملية التمثيل الضوئى Photosynthesis . أما للحيوان فيستخدم مواد معقدة فى بناء جسمه للحصول على الطاقة . أما بالنسبة للبكتيريا فمنها ما يحصل على الطاقة من عملية التمثيل الضوئى أو من أكسدة المواد الكيماوية البسيطة وتحصل على العناصر الغذائية من مواد بسيطة تتشابه فى ذلك مع النبات . ولكن أغلبها يحصل على المواد الغذائية اللازمة لبناء أجسامها والحصول على الطاقة من مواد معقدة مثل الحيوان .

والبكتيريا تحصل على المواد الغذائية بالإنشمار الغشائى لذلك فلا بد من أن يكون هذه المواد فى صورة ذائبة حتى تستطيع أن تمر خلال الغشاء السيتوبلازمى . لذلك فإنه فى حالة البكتيريا التى تتغذى على مواد عضوية معقدة مثل السليولوز أو النشا أو الدهون أو البروتين ، فلا بد لها أن تفرز إنزيمات خارجية Extracellular أى خارج الخلية فى الوسط الخارجى ليستطيع تحويلها إلى الحالة الذائبة . ولا تختلف الإحتياجات الغذائية للخلايا البكتيرية عن الكائنات الحية الراقية وأهم الإحتياجات هى الأكسجين والإيدروجين والكربون والأزوت والعناصر المعدنية .

أ- الأكسجين Oxygen

وقد سبق تقسيم البكتيريا بالنسبة لإحتياجاتها للأكسجين إلى أربعة أقسام هي : البكتيريا الهوائية إجباراً والبكتيريا اللاهوائية إجباراً والبكتيريا الاختيارية والبكتيريا المحبة للأكسجين بكمية ضئيلة وتحصل البكتيريا على الأكسجين إما من الهواء أو من مواد مرتبطة به .

ب- الهيدروجين Hyrogen

وتحصل البكتيريا عليه من الماء أو من المواد غير العضوية أو من المواد العضوية .

ج- الكربون والطاقة Carbon and Energy

تختلف البكتيريا بالنسبة لمصدر الكربون المستعمل لبناء أجسامها من كربوهيدرات أو من مواد عضوية . وتحصل البكتيريا على الكربون إما من CO_2 الجوى أو من مواد معدنية أو من مواد عضوية .

بالرغم من أن معظم البكتيريا تحصل على الطاقة عن طريق تحويلها لبعض المواد العضوية لوغير العضوية من صورة إلى أخرى بطريقة ينطوى عليها إنتاج طاقة ، فإن البعض الآخر يمكنه إستعمال الطاقة الضوئية لإختزال ثانى أكسيد الكربون الجوى وتحويله إلى مواد كربوهيدراتية تدخل فى بناء البروتوبلازم الخلوى . ومثل هذه البكتيريا تحتوى على أصباغ تعرف بالكلوروفيل البكتيري وقد تحتوى البكتيريا الأخرى التى تحصل على طاقتها عن طريق تفاعلات كيمائية على بعض الإصباغ إلا أن هذه الأصباغ ليس لها علاقة بالضوء . وعلى ذلك حتى نتمكن من وصف طرز التغذية أخذين فى الإعتبار كل من مصدر الهيدروجين ومصدر الكربون والطاقة يمكن وضع البكتيريا فى مجموعتين رئيسيتين هما :

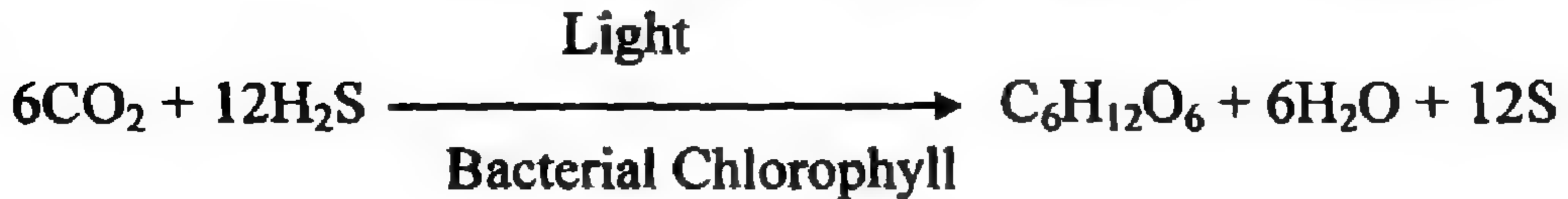
أولاً : البكتيريا الممثلة للضوء Phototrophic bacteria

١ - Photoautotrophic bacteria

وهذه البكتيريا ذاتية التغذية التي تعتمد على الضوء كمصدر للطاقة وتستعمل CO_2 كمصدر رئيسي للكربون أو تستطيع استخدام CO_2 كمصدر وحيد للكربون حيث تقوم بتثبيتته عن طريق دورة ريبولوز ثنائي الفوسفات مثل بكتيريا الكبريت الخضراء Green sulfur bacteria التابعة لعائلة Chlorobiaceae وبكتيريا الكبريت القرمزية Purple sulfur bacteria التابعة لعائلة Chromatiaceae .

٢ - Photoheterotrophic bacteria

وهذه البكتيريا غير ذاتية التغذية والتي تعتمد على الضوء كمصدر للطاقة وتستعمل مركبات كربون عضوية كمصدر كربوني رئيسي مثل البكتيريا Purple nonsulfur bacteria التابعة لعائلة Rhodospirillaceae وتحصل هذه البكتيريا على الكربون من ثاني أكسيد الكربون الجوي كمصدر وحيد للكربون وتسمى أيضاً Photosynthetic bacteria وهي بكتيريا قادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي وإن تحويل CO_2 إلى مكونات خلوية عضوية يعتبر عملية إختزال . وتشابه النباتات في هذه الخاصية ، وهذه البكتيريا تحتوي على كلوروفيل ولكنه موزع بانتظام في السيتوبلازم وليس في بلاستيدات خضراء . كما توجد صبغات أخرى خلاف الكلوروفيل كما في بكتيريا الكبريت الأرجوانية Purple sulfur bacteria وهذه الميكروبات لاهوائية Anaerobic وتقوم هذه البكتيريا بالتفاعل الآتي :



وتجدر الإشارة بأن التمثيل الضوئي في هذه الحالة يختلف عن التمثيل الضوئي Photosynthesis في النبات في أن البكتيريا الممثلة للضوء لا هوائية بينما النبات هوائية ، والتمثيل الضوئي في البكتيريا لا ينتج عنه أكسجين بعكس الحال في النبات ، هذا علاوة على أن الكلورفيل في البكتيريا موزع في السيتوبلازم بينما في النبات يوجد بداخل البلاستيدات الخضراء . وتعتبر هذه البكتيريا (ذاتية التغذية) التي تتطلب مصدراً غير عضوي للطاقة أو قد تستعمل الطاقة الضوئية فإن تصميمها البنائي يكون أكثر تعقيداً إذا تكون من المواد البسيطة هذه مواد معقدة ، وعلى العكس فالبكتيريا غير ذاتية التغذية تعتبر أبسط في قدرتها التخليقية حيث تحصل على مصدر عضوي معقد للطاقة . فكلما كانت الإحتياجات الغذائية للكائن بسيطة كلما تعقدت قدرات هذا الكائن التخليقية للمواد البروتينية وغيرها من الإحتياجات مثل عوامل النمو وغيرها .

ثانياً : البكتيريا الممثلة للمواد الكيماوية Chemotrophic bacteria وهي البكتيريا التي تحصل على الطاقة من خلال عمليات الأكسدة والإختزال وتسمى هذه المجموعة أيضاً Chemosynthetic bacteria والبكتيريا التي تستعمل ثاني أكسيد الكربون كمصدر وحيد للكربون تعرف بالبكتيريا ذاتية التغذية Autotrophs والبكتيريا التي لا تقدر على ذلك بل تتطلب مصدراً عضوياً من الكربون تعرف بالبكتيريا غير ذاتية التغذية Heterotrophs . والبكتيريا ذاتية التغذية يمكنها أن تنمو وتتكاثر على بيئات غير عضوية كلية تتركب من أملاح معدنية في وجود CO_2 . وعلى أساس هذين النظامين يمكن أن تقسم البكتيريا إلى أربع طرز غذائية كالآتي :

١- المواد الكيماوية المعدنية Chemolithotrophic bacteria

وهي البكتيريا التي تحصل على الهيدروجين من المواد غير العضوية وتسمى أيضاً Chemoautotrophic bacteria وهذه البكتيريا تحصل على الكربون اللازم لها من CO_2 الجوي وتحصل على الطاقة من أكسدة المواد الكيماوية المعدنية البسيطة القابلة للأكسدة ومن أمثلتها بكتيريا النيتروزوموناس *Nitrosomonas* وتحصل هذه البكتيريا على الطاقة اللازمة لها بأكسدة الأمونيا إلى نيتريت حيث تستخدم الأمونيا كمعطي للهيدروجين كما هو واضح من التفاعل التالي :



وبكتيريا النيتروباكتريز *Nitrobacter* التي تؤكسد النيتريت إلى نترات كمصدر للطاقة كما هو مبين بالتفاعل الآتي :



والميكروبان السابقان هما ضمن بكتيريا التآزت وهي مهمة جداً في التربة الزراعية حيث تؤكسد أملاح الأمونيوم الناتجة من تحلل المواد العضوية النيتروجينية إلى نترات وبذلك تكون في أحسن صورة ملائمة لاستفادة النبات . ومن البكتيريا التابعة لهذا القسم أيضاً بكتيريا الكبريت الغير ملونة التابعة لجنس *Thiobacillus* والتي تحصل على طاقتها من التفاعل الآتي :



٢- المواد الكيماوية العضوية Chemoorganotrophic bacteria

وهي البكتيريا التي تحصل على الهيدروجين اللازم لها من مركبات ومواد عضوية وهي بكتيريا معقدة التغذية حيث تحصل على الكربون والطاقة من مواد عضوية معقدة وهي تمثل أغلب أنواع البكتيريا الموجودة بالطبيعة وتسمى أيضاً Chemoheterotrophic bacteria . وتحصل هذه الميكروبات

على الطاقة اللازمة لها من لكسدة المواد العضوية سواء تحت الظروف الهوائية أو اللاهوائية حسب نوع الميكروب وبذلك تتوفر الطاقة اللازمة لها .
والمواد العضوية الكربونية التي تستخدم بواسطة هذه الميكروبات عديدة كالسكريات البسيطة والمعقدة والكحولات والأحماض العضوية وغيرها .

ويمكننا هنا أن نتساءل عن أى من المجموعتين نشأ من الآخر أثناء نشوءه وتطوره . حيث يرى البعض أن البكتيريا جميعها نشأت وتطورت من أجداد ذاتية التغذية كانت تستعمل المصادر الغذائية غير العضوية وتستعمل الطاقة المتكونة في تحويل CO_2 إلى مركبات عضوية بروتوبلازمية وأن بعض البكتيريا قد فقدت هذه الخصائص ولحده تلو الأخرى على مر الزمن وأن التخرج في الاحتياجات الغذائية التي تظهره البكتيريا ما هو إلا نتيجة هذا التطور بعيداً عن ذاتية التغذية Autotrophism متجهاً نحو الإعتماد في الحصول على الغذاء من كائنات حية أخرى كما هو الحال في النطفل وهو آخر مراحل التطور .

د- النيتروجين Nitrogen

تختلف البكتيريا بالنسبة لمصدر النيتروجين اللازم لبناء أجسامها فإن البكتيريا الممثلة للضوء والممثلة للمواد المعدنية مثلاً تحصل على النيتروجين اللازم لها من مواد معدنية كالأمونيا والنترات . و تحتاج إلى نيتروجين عضوى ومن مصادر النيتروجين البسيطة المذكورة تستطيع هذه الميكروبات بناء الأحماض الأمينية والأحماض النووية والبروتينات والإنزيمات والقواعد النيتروجينية والمركبات الحيوية المختلفة اللازمة لها .

لما البكتيريا الممثلة للمواد العضوية فهي تختلف فيما بينها من حيث إحتياجاتها من مصادر النيتروجين فبعضها يمكنها الحصول على إحتياجاتها للنيتروجينية من الأمونيا والنترات أيضاً وهناك أنواع أخرى يمكنها الحصول على النيتروجين اللازم لها من النيتروجين الجوى مباشرة كالـبكتيريا المثبتة للنيتروجين

بينما البعض الآخر لابد له من وجود مصادر نيتروجين معقدة محتوية على أحماض أمينية وبيبتيدات لكي تستطيع للنمو كمعظم الميكروبات الممرضة .

هـ- العناصر المعدنية Minerals

تشابه العناصر المعدنية الكبرى Major والصغرى Miner التي تحتاج إليها البكتيريا كثيراً مع تلك التي تحتاجها النباتات الراقية ، وتحتاج الكائنات الحية الدقيقة بصفة عامة لعدد قليل فقط من عناصر الجدول الدوري بتركيزات عالية وقد تصل نسبتها إلى 10^{-4} مول ، ويوضح الجدول التالي العشرة عناصر الغذائية الكبرى وبعض وظائفهم . فالكربون والأكسجين والهيدروجين والأزوت هي المكونات الأساسية للمادة العضوية الموجودة في الخلية ويدخل الكبريت في تركيب بعض الأحماض الأمينية مثل السيستين والميثيونين وبعض مرافقات الإنزيمات أما الفوسفور فيدخل في تركيب الأحماض النووية والفوسفوليبيدات وأحماض التايكويك Ticoich acids وكذا في تركيب بعض النيوكلييتيدات ومرافقات الإنزيمات . أما الأربعة عناصر الكبرى الباقية فهي عبارة عن أيونات معدنية تدخل كعوامل مساعدة هامة للنشاط الإنزيمي أو تدخل في تركيب بعض المركبات الحيوية الهامة في الخلية، فالماغنسيوم يدخل في تركيب الكلوفيل البكتيري ويساعد على ثبات تركيب البروتينات الدهنية في الجدار الخلوي . ويدخل الكالسيوم في تركيب بعض الإنزيمات الخارجية مثل إنزيمات Amylase و Protease كما يعد معقد الكالسيوم مع حمض الديبيكولين مكوناً هاماً للجراثيم الداخلية .

ويعد البوتاسيوم هو الكاتيون الأساسي في الخلية الذي يعمل على تنظيم الإسموزية وتبادل العناصر كما يدخل كعامل مساعد لبعض النظم الإنزيمية في الخلية . وتدخل أيونات الحديد والحديدك في تركيب نظم السيتوكرومات الهامة لعمليات إز الطاقة ، كما يدخل في تركيب بروتينات

الحديد والكبريت مثل الفيريدوكسين Ferriodoxin وكذا بعض الإنزيمات مثل إنزيم الكاتاليز Catalase .

و- الفيتامينات وعوامل النمو Vitamins and growth factors

تختلف الميكروبات كثيراً في إحتياجاتها للفيتامينات وعناصر النمو فبعض الميكروبات قادرة على تكوين إحتياجاتها من هذه المواد بنفسها مثل ميكروب E. coli التابعة لعائلة Enterobactriaceae ولذلك لا يلزم وجودها في البيئة الغذائية بينما البعض الآخر مثل بكتيريا حمض اللاكتيك غير قادرة على تكوين كل أو بعض هذه الفيتامينات والمواد الضرورية للنمو . وفي هذه الحالة فإن غيابها أو نقصها من البيئة قد يؤدي إلى منع أو تقليل معدل النمو لهذه الميكروبات .

وأكثر الفيتامينات التي تحتاجها البكتيريا هي الثيامين (B₁) Thiamine والبيوتين (Vitamin H) Biotin وحامض البنتوثينيك Pantothenic acid والريبوفلافين (B₂) Riboflavin والبيريدوكسين (B₆) Pyridoxin وحامض النيكوتينيك Nicotinic acid وحامض البارامينوزيك P-aminobenzoic acid وإن كان هناك مركبات أخرى تحتاجها بعض الميكروبات ولكن هذا على سبيل المثال لا الحصر . هذا وتعمل الفيتامينات عامة كمرافقات مثل الريبوفلافين وحامض النيكوتينيك التي تعمل كمرافقات إنزيمية لإنزيمات نقل الإيدروجين . والبيريدوكسال فوسفات يعمل مرافقاً لإنزيمات تخليق الأحماض الأمينية . كذلك حمض الفوليك Folic acid يعمل مرافقاً لإنزيمات بناء البيورينات والبريميدينات. والبكتيريا التي تحتاج إلى إضافة أحد هذه الفيتامينات تكون قد فقدت القدرة على تخليقها طبيعياً لذلك يجب إضافته في البيئة . وتتاسب كمية النمو الناتج مع تركيز الفيتامين الناقص تناسباً طردياً بصورة واضحة . وقد لوحى ذلك إلى إيجاد طريقة لتقدير تركيز بعض الفيتامينات في المواد الغذائية

باستعمال البكتيريا المحتاجة إلى إضافة هذه الفيتامينات ويعرف هذا التقدير بالتقدير الحيوى للفيتامينات . ويضاف مستخلص الخميرة عادة للوسط الغذائى ليمد حاجة الميكروب من هذه الفيتامينات .

وعلاوة على العشرة عناصر السابقة (العناصر الغذائية الكبرى) فإن الكائنات الحية الدقيقة تحتاج إلى عدد آخر من العناصر ولكن بكميات قليلة جداً ولذا فتسمى بالعناصر الغذائية الصغرى Trace and small elements وهى الزنك والمنجنيز والصوديوم والكلور والموليبدنيوم والكوبلت والنحاس والنيكل والفاناديوم والبورون . وتشارك هذه العناصر فى العمليات الحيوية فى الخلية البكتيرية إما كمنشطات لبعض الإنزيمات أو بدخولها فى تركيب بعض المرافقات الإنزيمية أو فى تركيب البروتين الإنزيمى .

وتوجد معظم العناصر الغذائية سواء منها الكبرى أو الصغرى فى الطبيعة على صورة أملاح تؤخذ بواسطة الخلية على صورة أيونات . أما بالنسبة لعناصر الكربون والأكسجين والهيدروجين والأزوت والكبريت فإنها تؤخذ بواسطة خلايا الكائنات الحية الدقيقة على صورة مركبات متعددة ومتنوعة . فخلية الكائن الحى الدقيق تأخذ للكبريت عادة على صورة كبريتات وتختزلها بداخلها إلى مستوى الكبريتيد حيث يدخل على هذه الصورة فى عمليات البناء الحيوى . غير أن بعض أنواع البكتيريا تعتمد على وجود المركبات البروتينية المختزلة فبعض أنواع بكتيريا الميثان لا تستطيع النمو إلا فى وجود كبريتور الهيدروجين كمصدر للكبريت ، كما أن أنواع جنس *Thiobacillus* وبعض أنواع البكتيريا الممثلة للضوء تتطلب وجود الكبريتيد أو الكبريت أو الثيوكبريتات لى تستطيع النمو . وتحتاج الخلية لكميات كبيرة من الأزوت إذ أنه يكون حوالى ١٠-١٥% من الوزن الجاف للخلية البكتيرية. ويوجد فى الطبيعة فى صورة أزوت غازى أو أمونيا أو نيتريت أو فى صورة

مركبات عضوية لزوتية . وصورة الأزوت المفضلة بالنسبة لكل الكائنات الحية الدقيقة تقريباً هي الأمونيا وتعمل النترات كمصدر للأزوت بالنسبة لكثير من الكائنات الحية الدقيقة ، وتختزل النترات في داخل الخلية حتى مستوى الأمونيا قبل أن تدخل في بناء المركبات العضوية في الخلية .

ولبعض أنواع البكتيريا القدرة على الاستفادة من الأزوت الغازية إذ تقوم بتثبيتته وإختزاله بداخلها إلى مستوى الأمونيا . وخاصة تثبيت لزوت الهواء الجوى هي صفة تقتصر فقط على الكائنات نوات النواة الأولية Procaryotes والتي منها البكتيريا والطحالب الخضراء المزرققة ولم يثبت وجود هذه الخاصية حتى الآن في أى من الكائنات نوات للنواة الحقيقية Eucaryotes .

كما تشكل المواد العضوية الأزوتية مصدراً للأزوت لكثير من أنواع البكتيريا وعادة ما تحلل البكتيريا هذه المواد إلى أمونيا قبل أن تستخدمها في عمليات البناء الحيوى . ويمكن لخلايا البكتيريا أن تأخذ كل من الكربون والهيدروجين والأكسجين في صورهم العضوية وأيضاً الغير عضوية . ومن الصور الغير عضوية CO_2 ، H_2 ، H_2S ، NH_3 ، H_2O ، NO_3 ، SO_4 أما الصور العضوية لهذه العناصر والتي هي في نفس الوقت نواتج طبيعية تكونت بفعل كائنات حية أخرى مثل النباتات و الحيوانات فلا تكاد تتجمع وتتراكم على سطح الأرض ويرجع ذلك بالدرجة الأولى لنشاط الكائنات الحية الدقيقة في تحليل المركبات العضوية . إذ أنه في حقيقة الأمر ي تكاد توجد مادة عضوية متكونة طبيعياً لا يمكن لميكروب أو آخر مهاجمتها والتغذية عليها وتحليلها .

ولا تكفى مجرد وجود العناصر الغذائية اللازمة في صورة صالحة لكي تنمو البكتيريا إذ أنها تحتاج لشروط إضافية لكي يتم النمو . ومن هذه

الشروط ضرورة توافر درجة حرارة مناسبة وأن يكون التركيز الكلى للمواد فى البيئة ودرجة حموضتها ونسبة الأيونات إلى بعضها البعض مناسبة . كما أن هناك البكتيريا ذات الاحتياجات الخاصة التى تحتاج علاوة على الشرط السابقة لمركبات خاصة ولا تستطيع بناءها أو تمثيلها بنفسها ويجب لذلك توافرها فى البيئة لكى يتم النمو ويطلق على هذه المواد اسم عوامل النمو Growth factors وهذه المواد قد تكون أحماض أمينية أو فيتامينات تعمل كمرافقات إنزيمية Co-enzyme أو تدخل فى تركيب هذه المرافقات .

ثانيا : النمو البكتيري Bacterial growth

تعريف النمو Definition of growth

يمكن تعريف النمو فى أى نظام حوى بأنه الزيادة المنتظمة فى الكتلة الخلوية من المكونات الكيماوية للكائن . ويلاحظ أن الزيادة المنتظمة فى الكتلة الكلية لا تعنى بالضرورة النمو وذلك لأن هذه الزيادة قد تنشأ من بناء وتراكم مواد مخزنة مثل الجليكوجين ولا يصاحب ذلك بناء مواد حيوية مثل البروتين أو الأحماض النووية . وكذلك نجد أن النمو يتم أيضا طبيعيا نتيجة للزيادة العددية للخلايا وللتكاثر الخلوى Cellular multiplication . ويلاحظ أنه فى حالة الكائن عديد الخلايا فإن التكاثر الخلوى يؤدى إلى الزيادة فى حجم الكائن، أما فى حالة الكائنات وحيدة الخلية فإنها تؤدى إلى زيادة فى عدد الأفراد وبذلك يكون النمو فى البكتيريا بصفة خاصة زيادة فى تعداد الخلايا .

وتتكاثر البكتيريا عادة بالإنقسام الثنائى فيحدث أولا تكرار للكروموسوم البكتيرى Chromosomal replication . وكما نكرنا من قبل فإنه قد يمثل الكروموسوم الدائرى جزئ مفرد من DNA ، وهذا الجزئ يمكنه أن يكرر نفسه بنفس الطرق الإزدواجية للجزئيات غير الدائرية . وبعد انفصال الكروموسومين المتماثلين يبدأ الغشاء السيتوبلازمى فى النمو إلى مركز الخلية

مكوناً حاجزاً عرضياً Transverse septum ، ثم ينمو الجدار الخلوى على كلا جانبي الخلية فى النمو للداخل إلى مركز الخلية. ويلاحظ أن نقطة النمو غالباً ما تكون مصاحبةً للـ Mesosomes وترسب المواد التى تكون الجدار الخلوى بين غشائى الحاجز Membranes of the septum وفى النهاية ينشق هذا الحاجز العرضى لتتكون خليتان .

قياس النمو الميكروبي Measurement of microbial growth

لنتبع النمو الميكروبي فإنه من الضرورى عمل مقاييس لتقدير كميته، وفى حالة مجاميع من كائن وحيد الخلية فإن النمو يمكن قياسه إما بتقدير الكتلة الخلوية Cell mass أو عدد الخلايا Cell number . وفى كئنا الطريقتين يجب أن تتسب إلى حجم معين من البيئة الغذائية الذى نمى عليها الميكروب قبل الدراسة بجانب ظروف النمو من حرارة ، pH .

أولاً : الطرق المباشرة Direct methods

١- تقدير الكتلة الخلوية Determination of biomass

وجد أن الطريقة الوحيدة انباشرة لقياس cell mass هى تقدير الوزن الجاف للمادة الخلوية فى حجم معين من المزرعة .

٢- تقدير العدد الخلوى Determination of cellular number

يمكن تقدير عدد الخلايا فى معلق بكتيرى ميكروسكوبياً عن طريق عد الخلايا الفردية بمساعدة شرائح خاصة تسمى غرف العد Counting chambers وهذه الطريقة المباشرة فى العد تسمى Total cell count . ويلاحظ أنها تقدر العدد الكلى للخلايا البكتيرية الحية أو غير الحية ويمكن تقدير عدد الخلايا بطريقة الإطباق Plate count أو الـ Viable count حيث أن الخلايا الحية الفردية تعطى خلال نموها مستعمرات فردية وذلك عن طريق نشرها على أو فى بيئة أجار مغذى وذلك بتحضير تخفيفات مناسبة من البكتيريا وإستعمالها لتلقيح البيئة فإنه يمكن تحديد عدد الخلايا الحية عن طريق

عدد المستعمرات التي تتكشف بعد التحضين ثم ضرب عدد المستعمرات في معامل التخفيف . وهذا التقدير يعطى صورة عن عدد الخلايا القادرة على النمو على البيئة الغذائية المستعملة .

ثانياً : الطرق الغير مباشرة Indirect methods

١- تقدير النشاط الإنزيمى Determination of enzymatic activity

وتوجد طريقة أخرى غير مباشرة لتقدير الكتلة الخلوية وهو تقدير نشاط إنزيم معين والتي تنسب إلى الوزن الجاف .

٢- تقدير الكربون والنيتروجين المستهلك

Determination of Carbon and Nitrogen consumed

٣- تقدير النيتروجين الخلوى Determination of Cellular Nitrogen

وقد تقدر أيضاً بطريقة غير مباشرة عن طريق تقدير بعض المكونات للمادة الخلوية مثل المحتوى النيتروجينى .

٤- تقدير الأحماض النووية الكلية Determination of Total nucleic acids counts

٥- تقدير O_2 المستهلك Determination of Consumed Oxygen

أو الناتج النهائى لعملية أيضية (P) Product مثل تقدير CO_2 الناتج من التنفس .

٦- تقدير ناتج الأيض الحيوى Determination of Metabolite product, CO_2

أو التخمر وأن معدل إنتاج حمض ناتج عن تخمير سكر قد يستعمل لتتبع نمو ميكروبي مثل بكتيريا حمض اللاكتيك .

٧- تقدير كثافة النمو البكتيرى Determination of (Optical density, OD)

وتوجد طريقة تعتمد على أنه كلما زادت درجة تعكير المزرعة Turbidity والتي تعنى زيادة كمية النمو كلما قلت كثافة الأشعة الضوئية النافذة خلال هذه المزرعة . فإذا استعمل جهاز لقياس الضوء النافذ خلال مزرعة بكتيرية سائلة أو معلق بكتيرى فى ماء مقطر فإنه يمكن قياس كثافة الشعاع النافذ باستعمال وحدة ضوئية حساسة وهذا باستخدام جهاز (١٢٨)

Spectrophotometer . ويلاحظ أن كثافة الشعاع تكون متلازمة عكسياً مع درجة تعكير المزرعة والتي تعنى زيادة كمية النمو أى أن النقص فى كمية الضوء النافذ يعتبر دليلاً لتقدير الكثافة الخلوية .

حساب النمو البكتيرى Calculation of bacteria growth

تحت الظروف المناسبة والبيئة الغذائية الملائمة للتضاعف فإن عدد من الخلايا البكتيرية يتضاعف على فترات منتظمة . فإذا بدأنا المجموع بخلية واحدة فإن الكتلة الخلوية وعدد الخلايا يتزايد باستمرار مع الزمن ويتضاعف على فترات ثابتة . ولن الوقت اللازم لى تنقسم الخلية أو ليتضاعف المجموع تعرف بالوقت الجيلى Generation time ، وهذا الوقت الجيلى يختلف باختلاف نوع البكتيريا ، فمثلاً فى حالة البكتيريا E. coli يكون من ١٥-٢٠ دقيقة وفى حالة البكتيريا Mycobacterium tuberculosis يكون ٦-١٢ ساعة . درجة الحرارة، حيث تختلف البكتيريا الميزوفيلية عن تلك الترموفيلية فى درجة حرارة النمو للمثلى وبالتالي فى الوقت الجيلى . البيئة الغذائية ، حيث تختلف مدة الوقت الجيلى على أساس تركيب البيئة الغذائية التى تتوفر فيها كل المتطلبات الغذائية . عمر المزرعة، حيث يختلف الوقت الجيلى باختلاف عمر المزرعة لنفس الميكروب هذا علاوة على السلالة البكتيرية قيد الدراسة .

فإذا فرضنا أن خلية بكتيرية واحدة فقط لقحت فى بيئة غذائية مناسبة

وملائمة للإنقسام فيمكن تقدير مجموع الخلايا فى الأجيال المتعاقبة كالاتى :

$$\text{الجيل الأول} \quad G_1 = 1 \times 2^1 = 2$$

$$\text{الجيل الثانى} \quad G_2 = 1 \times 2^2 = 4$$

$$\text{الجيل الثالث} \quad G_3 = 1 \times 2^3 = 8$$

$$\text{الجيل الرابع} \quad G_4 = 1 \times 2^4 = 16$$

$$\text{ن من الأجيال} \quad G_n = 1 \times 2^n = 2^n$$

أما إذا بدأنا بـ A من الخلايا فإن عدد الخلايا B بعد زمن معين هو

$$B = A \times 2^N$$

$$\text{Log}_{10} B = \text{Log}_{10} A + \text{Log}_{10} 2^N$$

وبأخذ لوغاريتم الطرفين فإن

$$\text{Log}_{10} B = \text{Log}_{10} A + N \text{Log}_{10} 2$$

$$\text{Log}_{10} B - \text{Log}_{10} A = N \text{Log}_{10} 2$$

عدد الأجيال

$$G = \frac{\text{Log}_{10} B - \text{Log}_{10} A}{\text{Log}_{10} 2}$$

إن عدد الأجيال

$$G = \frac{\text{Log}_{10} B - \text{Log}_{10} A}{0.3010}$$

ومن المعادلة الأخيرة فإنه يمكن حساب عدد الأجيال التي حدثت إذا بدأنا

بمجموع خلايا مبدئي A ، وكان مجموع الخلايا B بعد إنتهاء زمن معين t

وعلى ذلك فإن الوقت الجيلي $t_g = t / N$

$$t_g = t / \frac{\text{Log}_{10} B - \text{Log}_{10} A}{\text{Log}_{10} 2}$$

$$t_g = \frac{t \times \text{Log}_{10} 2}{\text{Log}_{10} B - \text{Log}_{10} A} = \frac{t \times 0.3010}{\text{Log}_{10} B - \text{Log}_{10} A}$$

تثبيط النمو Growth inhibition

يتم ذلك باستخدام المواد الكيماوية وهناك أربعة مناطق حساسة بالخلية البكتيرية يمكن للمواد الكيماوية أن تؤثر عليها لأن المواد الكيماوية قد تكون متخصصة أو غير متخصصة . فمثلاً يؤثر على الجدار بعض المضادات الحيوية مثل Penicillin ويتركز تأثيره على جدر البكتيريا الموجبة لجرام

وكذلك لجرام وكذلك إنزيم Lysozyme . أما الغشاء السيتوبلازمي وهو أول حاجز يقابل المواد الكيماوية بعد اجتيازها الجدار الخلوي يفقد خاصية الاختيارية عند استخلاص المحتويات الدهنية بالمواد الكيماوية مثل الأسيتون والكلوروفورم . والسيتوبلازم هو أحد المناطق الأربعة الحساسة بالخلية البكتيرية حيث يتم التأثير عليه بأحد طريقتين :

١ - التفاعل مع البروتين السيتوبلازمي

وهذا يؤدي إلى تمزق القوى الرابطة والتي تحفظ للبروتين السيتوبلازمي حالته الغروية لذلك يحدث تجمع أو ترسيب للسيتوبلازم مثل المعاملة بالأسيتون أو كبريتات الأمونيوم بتركيز عالي . كذلك الارتباط المباشر أو التفاعل مع المجاميع الفعالة في البروتين السيتوبلازمي مما يؤدي إلى تأثير سام بهذه المواد الكيماوية .

٢ - تعطيل بعض التفاعلات الأيضية

قد تدخل المواد الكيماوية في التفاعلات الميتابولزمية مما يؤدي إلى تعطيلها وبالتالي تتوقف الخلية عن النمو عن طريق تعطيل هذه التفاعلات المسؤولة عن تخليق مواد وسيطة هامة للنمو وتسمى هذه الكيماويات بالمواد المضادة لتكوين المواد الأيضية الهامة Antimetabolites وهي تتشابه في التركيب إلى حد ما مع المركبات الخاصة بالتمثيل الغذائي في الخلية ولذلك يمكنها أن تتحد مع البروتين الإنزيمي ولكن بطريقة تمنع استمرار التفاعل بطريقته المعتادة أو أنها تتنافس مع مادة التفاعل الإنزيمي المسئول على سطح البروتين وفي هذه الحالة فإن زيادة تركيز المواد المسؤولة عن التفاعل قد يلغي تأثير المواد المتنافسة أو المثبطة .

ويقدر لكل مادة تفاعل أن تلغي التأثير السام للنمو نتيجة فعل الكيماويات السامة معامل يسمى معامل التثبيط وهذا المعامل يختلف من مادة إلى أخرى .

معامل التثبيط = تركيز جزيئات المادة السامة ÷ مادة التفاعل المسئولة عن النمو
ومن هذه المواد للتنافسية مركب السلفانيلاميد وهو يتنافس مع حمض
البارا أمينوبنزويك خاصة في خلايا الخميرة .

المنطقة النووية من المناطق الأربع الحساسة بالخلية والتي تتأثر بفعل
المواد الكيماوية السامة حيث قد يؤدي تأثير المواد الكيماوية إلى حدوث
طفرات Mutations وتعتبر هذه الكيماويات ذات تأثير مطفر ومن هذه المواد
الفورمالدهيد وفوق أكسيد الأيدروجين وقد يرجع تأثير هذه المواد على
البروتين الخلوي نتيجة حدوث الارتباط بين هذه المواد وبين المجاميع الفعالة
من الأحماض النووية مما يؤدي إلى تغيير الصفات الوراثية .

ومن الكيماويات المستخدمة في تثبيط نمو البكتيريا الفينول الذي
يستخدم لتعقيم الأرضيات والأدوات ويؤدي إلى إفساد البروتين الخلوي
والغشاء السيتوبلازمي . الكحولات والتي تعمل على تجميع البروتين الخلوي .
اليود حيث له فعل سام لأنه يرتبط بروابط غير تخصصية بالبروتين الخلوي .
كذلك تستخدم بعض الصبغات مثل الكريستال البنفسجي وأخضر الملاكيث
حيث تمنع نمو البكتيريا الموجبة لجرام دون السالبة لجرام ولذلك تضاف عند
تحضير البيئات الانتخابية . ويمكن استخدام الفورمالدهيد الذي يؤثر على
الخلايا الخضرية بدرجة أكبر من الجراثيم حيث ترتبط مع المجاميع الفعالة
القاعدية للبروتين الإنزيمي . هذا علاوة على استخدام المضادات الحيوية
المتخصصة في إيقاف عمل الميكروبات ومنها نو تأثير واسع وهي تستخدم
في علاج الأمراض البكتيرية مثل البنسلين على البكتيريا الموجبة لجرام
وكذلك ستربتومايسين وتأثيره على البكتيريا الموجبة والسالبة لجرام .

منحنى النمو البكتيري Bacterial growth curve

عند تلقيح خلية بكتيرية في بيئة غذائية مناسبة فإنها تتكاثر بإنظام
بمعدل يتناسب مع الوقت الجيلي . فإذا استعملنا العدد النظري للخلايا الذي

سيوجد على فترات منتظمة ووقعت هذه البيانات بطريقتين إما بتوقيع لوغاريتم عدد الخلايا أو بتوقيع عدد الخلايا مع الزمن سنحصل على منحنيات تمثل ما يحدث طبيعياً عند رسم منحنى فيما عدا جزء واحد فقط من منحنى النمو الطبيعي وهو الذى يطلق عليه طور النمو اللوغارتمى Log phase . ولكن تعداد الخلايا سيكون محدداً ليس فقط بنفاذ المواد الغذائية بل أيضاً نتيجة لتراكم النواتج الإيضائية السامة . وحيث أن هذه التغيرات فى الظروف البيئية سينتجها الكائن الدقيق الحى بنفسه وعلى ذلك فإن تكشف المجاميع الميكروبية يمكن أن نطلق عليه أنه محدد ذاتياً Self-limited وأنه بعد توقف النمو فإن المجموع سيبدأ فى التناقص نتيجة لموت أفراد المجموع . وهذه هى العوامل التى ستحدد شكل منحنى النمو البكتيرى فى مزرعة لا يجد فيها مصدر المادة الغذائية Batch culture ، وهذا بعكس المزارع الأخرى سواء Feed batch culture أو المزرعة المستمرة Continuous culture . ويظهر من الشكل أنه توجد ٤ أطوار رئيسية فى المزرعة ، كل منها يتميز بمعدل معين فى تغيير المجموع وهى كالاتى :

١- طور الركود Lag phase

وفيه نجد أن معدل النمو = صفر ، أى أن عدد الخلايا يظل ثابتاً لفترة معينة . وفى هذه المرحلة يزداد حجم الخلية حيث يزداد معدل النشاط الأيضى مع زيادة فى معدل تنفس الخلية . هذا ويزداد كمية المكونات الأساسية للمحتويات النووية والمحتويات البروتينية بالخلية . علاوة على زيادة تكوين الأحماض النووية فى الخلية حيث يزداد حمض RNA ثم يزداد حمض DNA فى الزيادة قبل انقسام الخلية . ويلاحظ أن طور الركود قد لا يحدث فى المزرعة وإذا حدث فى المزرعة فإن طول هذه الفترة قد يختلف . وطور الركود هذا عادة يتسبب إما عن استعمال لقاح أخذ من مزرعة كبيرة فى العمر

أى فى الطور الثابت لو فى طور الموت ، لو عند النقل من مزرعة نامية فى بيئة ذات تركيب كيمائى مختلف . وعلى العكس إذا نقل اللقاح من مزرعة نامية فى طور النمو اللوغاريتمى إلى بيئة لها نفس التركيب الكيمائى فإن النمو اللوغاريتمى سىظل محتفظاً بنفس المعدل فى البيئة الجديدة ولن تظهر فترة الركود . ومن الناحية الصناعية يكون من الأفضل أن تكون هذه الفترة أقصر ما يمكن .

٢- طور النمو اللوغاريتمى Logarithmic phase

فى هذا الطور Log phase فإن معدل النمو يصل إلى أقصى قيمة ثابتة . وفى خلال هذا الطور فإن كل الخلايا المتكونة ستكون حية ولها حجم ثابت . وأن الخلايا تنقسم بانتظام ويصل معدل النمو إلى أقصاه والوقت الجلى يكون ثابتاً هذا علاوة على أن الخلية تكون صغيرة وذات بروتوبلازم متجانس وهو أنسب الأطوار لقياس سرعة النمو . والقيمة العددية لمعدل النمو تتأثر بالعوامل الوراثية والعوامل البيئية والغذائية . وأن أقصى قدرة على التكاثر لكائن معين فى ظروف بيئية مناسبة خاصة وراثية للنوع Species وتختلف كثيراً من نوع لآخر . وأن العوامل التى تؤثر على معدل النمو تشمل طبيعة وتركيز المواد الغذائية ودرجة الحرارة والقوة الأيونية للبيئة الغذائية (pH) . ومن الناحية الصناعية يكون من الأفضل أن تكون هذه الفترة أطول ما يمكن .

٣- الطور الثابت Stationary phase

ويسمى أيضاً Maximum Stationary phase وفيه يكون معدل النمو = صفر ، أى أن التعداد يظل ثابتاً ، أى يحدث وقف للإنقسام أو حدوث توازن بين معدل التكاثر ومعدل الموت ، وذلك ليس فقط نتيجة لتراكم النواتج الإيضية السامة بل أيضاً نتيجة لنفاذ المواد الغذائية . وقد تؤدي النواتج الإيضية إلى خفض درجة حموضة البيئة إلى حد يمنع التكاثر لو قد تكون تلك

المواد ذاتها سامة للميكروب . ويتوقف طول فترة الطور الثابت على درجة حساسية الخلايا البكتيرية للظروف السائدة بالمزرعة حيث يظل عدد الخلايا الحية المنقسمة ثابتاً بها وبذلك كلما زادت حساسية الخلايا وكلما كانت الظروف غير ملائمة كلما قصرت فترة الطور الثابت .

٤- طور الموت Decline phase

ويسمى أيضاً بطور التدهور وفيه يكون لمعدل النمو قيمة سالبة ، أى أن تعداد الخلايا يتدهور . ويحدث فيه معدل لوغارتمى لموت الخلايا ، وهو عكس المعدل اللوغارتمى للنمو فى الطور اللوغارتمى Log-phase وقد يطلق عليه طور الموت اللوغارتمى Phase of logarithmic death وفى حالة مجاميع البكتيريا فإن موت الخلية غالباً لا يصاحبه تحلل للخلية وبذلك فإن الكتلة الخلوية قد تظل ثابتة لو تظهر قليلاً من التدهور خلال هذه المرحلة ولو أن كثيراً من المجموع قد أصبح ميتاً . وقد يصبح للموت تحلل للخلايا وفى هذه الحالة فإن الكتلة تتدهور مع عدد الخلايا الحية ، وأن معدل الموت قد يستمر عدة أيام لو قد تموت الخلايا فى ٢-٣ أيام مثل البكتيريا Neisseria gonorrhoeae التى تسبب السيلان .

الفصل الثامن :

أيض وإنزيمات الخلية البكتيرية

أيض وإنزيمات الخلية البكتيرية

Metabolism and enzymes of bacterial cell

أولاً : الأيض البكتيري Bacterial Metabolism

تقوم خلية الكائن الحي بالتحويلات الأيضية التي من شأنها القيام بوظيفتين رئيسيتين الأولى هي توليد الطاقة Energy-generation ، ويطلق على هذه العمليات في الخلية بعمليات الهدم Catabolism . أما الوظيفة الثانية هي إستهلاك الطاقة Energy-consumption وتعنى القيام بالتفاعلات التي تستهلك الطاقة أى أنها عمليات وطرق التخليق الحيوى Biosynthetic pathways ، كما يطلق على هذه العمليات أيضاً بعمليات البناء Anabolism. ويتم عملية النمو نتيجة لعمليات الهدم التي عادة ما تسبق عمليات البناء ، ولن جزء من الطاقة المشتقة من الهدم تستغل في عمليات التخليق الحيوى أيضاً .

لذلك تستطيع خلية البكتيريا القيام بكافة الوظائف الحيوية المعقدة التي تتم في الكائنات الحية الأخرى كالنبات والحيوان بل أن النشاط الحيوى للبكتيريا يزيد عن مثيله في هذه الكائنات . وعلى الرغم من تشابه بوتوبلازم الخلية في جميع الكائنات الحية إلا أن الإحتياجات الغذائية لكل كائن حي يتوقف على ما يحتويه من نظم إنزيمية . فالنبات يستطيع تخليق الكربوهيدرات في عملية التمثيل الضوئى وله القدرة على تخليق الأحماض الأمينية من الأملاح النيتروجينية المعدنية . أما الحيوان فيحتاج لإمداده بالمواد الكربوهيدراية والأحماض الأمينية والأملاح المعدنية والفيتامينات لعدم قدرته على تخليقها . ويختلف الحال في البكتيريا حيث تستطيع مجموعة معينة من البكتيريا وهي البكتيريا الأوتوتروفية تخليق كل مكوناتها من

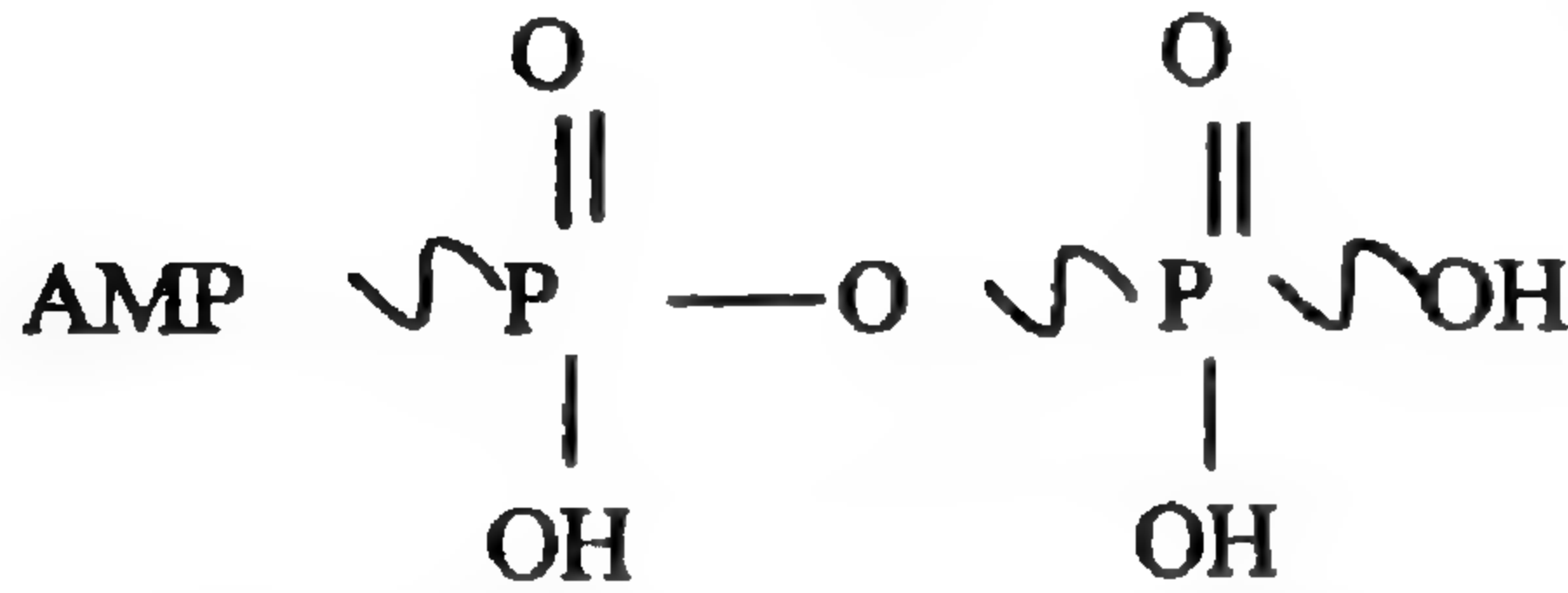
الأملاح المعدنية البسيطة وتحصل على طاقتها بأكسدة المواد المعدنية أو من عملية التمثيل الضوئي . بينما تحصل مجموعة أخرى من البكتيريا الهيتروتوفية على طاقتها من أكسدة المواد الكربوهيدراتية التي تعتبر مصدراً للطاقة والكربون . وتشتمل دراسة التمثيل الغذائي للبكتيريا عمليات الهدم والبناء لكل من المواد الكربوهيدراتية والنيتروجينية والدهنية والأحماض النووية والتوكسينات والصبغات وسنقتصر في دراستنا على التحولات الغذائية لكل من المواد الكربوهيدراتية والنيتروجينية والدهنية .

روابط الطاقة الخلوية Cellular energy bonds

قد يكون هناك اتجاه جزء من الطاقة الحرة نتيجة لبعض التفاعلات الكيميائية المنتجة للطاقة ، والتي تستعمل في عمليات أخرى مرافقة لعمليات إنتاج الطاقة والتي من شأنها القيام بعمليات البناء . وتعرف هذه العمليات بالعمليات المزدوجة Coupling reaction وهو نوع من الارتباط بين عمليات الهدم والبناء معاً .

ولأن العمليات الأيضية التي من شأنها إنتاج الطاقة تقوم بتخزين الطاقة الناتجة في صورة روابط معينة تعرف بالروابط الغنية بالطاقة Energy-rich bonds . وهذه الروابط توجد في بعض المركبات التي تعمل كناقلات للطاقة Energy carriers حيث أن محتواها من الطاقة الكامنة يمكن أن يستعمل جنباً إلى جنب مع التفاعلات التي تحتاج إلى الطاقة في التخليق الحيوي لمكونات الخلية . وأن المركبات التي تعمل كناقلات للطاقة والتي تربط أو تصل بين الهدم والبناء وهي أدينوزين تراي فوسفات Adenosine triphosphate (ATP) ومركب بيريدين نيوكليوتيد المختزل Reduced pyridine nucleotides . وأن التركيب الكيماوي للـ ATP يبدو أنه مشتق من النيوكليوتيد Adenosine monophosphate (AMP) والذي

يضاف إليه مجموعتين فوسفات ترتبط بروابط بيروفوسفاتية . هاتان الرابطتان الأخيرتان يرمز لهما برابطة مموجة ~ ، أى أنها روابط غنية بالطاقة . وهذه تتكون نتيجة تحويل الفوسفات المعدنى إلى فوسفات عضوى فى صورة تلك الروابط والتى عن طريق التحليل المائى تعطى طاقة Adenosine monophosphate (AMP) وتحرر كمية من الطاقة كحرارة والتى قد تصل إلى أكثر من ٨ كيلو كالورى / رابطة فى الجزئ



وفى النظام الطبيعى فإن الطاقة النهائية الكامنة فى الرابطتين الفوسفوريتين فى المركب ATP لا تتحرر طبيعياً كحرارة بواسطة التحلل المائى البسيط ، ولكن يحدث إتصال للطاقة عن طريق نقل واحدة أو اثنتين من روابط الفوسفات الغنية تاركة المركب الأحادى الفوسفات AMP إلى جزئ المادة العضوية التى هى المستقبل النهائى ، ولأن جزء من طاقة الرابطة يحفظ فى الجزئ الجديد المفسر المتكون . ويمكن القول بأن تفاعلات النقل هذه تستطيع الإحتفاظ بـ ٨ كيلو كالورى نتيجة وجود رابطة الفوسفات ، وعلى ذلك فإنه بالرابطتين الطرفيتين للـ ATP فإن ذلك سوف يمثل طاقة تقدر بـ ١٦ كيلو كالورى . كذلك يمكن إستعمال طاقة الرابطة الفوسفاتية للـ ATP بتحويل الـ ATP إلى ADP . وأن أحد الوظائف الأساسية للتفاعلات التى تنتج الطاقة هو إعادة توليد الـ ATP عن طريق إعادة تخليقه من الـ ADP عن طريق إضافة رابطة فوسفورية جديدة باستعمال الفوسفور غير العضوى .

هذا وأن عمليات التخليق الحيوى تحتاج إلى طاقة يحصل عليها من الرابط الغنية بالطاقة مثل ATP . وبالإضافة إلى ذلك فإنها غالباً تحتاج إلى قوة إختزالية Reducing power والتي تشتق من توالى تفاعلات الهدم . ويتم نقل هذه القوة الإختزالية من التفاعلات التى تعطى الطاقة إلى تفاعلات التخليق الحيوى التى تحتاج إلى إختزال عن طريق جزيئين هما (AND) Nicotinamide (NADP) ، Nicotinamide adenine dinucleotide adenine dinucleotide phosphate . والذان يمكنهما الدخول فى تفاعلات أكسدة أو إختزال وأن الصورة المؤكسدة من كل منهما تحمل ذرة إيدروجين أقل من التى تحملها الصورة المختزلة . وبالإضافة إلى ذلك فهى تحمل شحنة موجبة على ذرة الإيدروجين والتى تجعل لها القابلية لتستقبل إلكترون ثان عند الإختزال .

وعلى ذلك فالتفاعل العكسى للأكسدة والإختزال للـ NAD يكون كالاتى :
$$\text{NAD}^+ + 2\text{H} \rightleftharpoons \text{NADH} + \text{H}^+$$
 ويمكن القول بأن الطاقة الإختزالية التى تنتج خلال التفاعلات الأيضية التى تنتج طاقة وتنتج NADPH_2 و NADH_2 يمكن أن تستعمل فى تفاعلات التخليق الحيوى التى تحتاج إلى إختزال . وكذلك فى التنفس لإنتاج مركب ATP خلال التفاعلات المصاحبة لنقل الإلكترونات إلى الأكسجين .

التنفس البكتيرى Bacterial respiration

يشمل التنفس الحيوى Biological oxidation فى البكتيريا جميع التفاعلات التى ينتج عنها إنطلاق طاقة داخل الخلية البكتيرية . وللتنفس فى البكتيريا وظيفتين هامتين مرتبطتين ببعضهما هما إنتاج الطاقة اللازمة لحياة ونمو البكتيريا ، وتخليق بروتوبلازم الخلية من النواتج الوسطية الحيوية

Precaursors لعملية الأكسدة . ويتم الحصول على الطاقة نتيجة عمليات الأكسدة الحيوية Biological oxidation ويعبر عنها بالآتي :

١- إكتساب المادة للأكسجين



٢- فقد المادة للأيدروجين



٣- فقد المادة للإلكترونات



وهنا نجد أن أيون الحديد قد اكتسب إلكترون من أيون النحاس وبذا فقد اختزل إلى أيون الحديدوز وفي نفس الوقت تم أكسدة أيون النحاس إلى أيون النحاسيك أي أن أكسدة أي مادة يصاحبها اختزال مادة أخرى حيث تفقد المادة التي ستؤكسد إلكترونات تكتسبها المادة التي ستختزل . أما في حالة أكسدة المادة العضوية كما هو الحال في معظم أنواع التنفس البكتيري فإن ذلك يشمل إنتقال ذرات أيدروجين بالإضافة إلى إنتقال إلكترونات . ويمكن توضيح ذلك بما يحدث عند أكسدة حمض الماليك إلى حمض أكسالوأستيك وإختزال حمض البيروفيك إلى حمض اللاكتيك كما يحدث في المعادلة الآتية:



حيث نجد إنتقال ذرتي أيدروجين وكذا إلكترونين من حمض الماليك إلى حمض البيروفيك وينتج عن ذلك أكسدة حمض الماليك إلى حمض الأكسالوأستيك بينما إختزل حمض البيروفيك إلى حمض اللاكتيك . ويمكن التعبير عن التنفس البيولوجي بالمعادلة الآتية :



حيث تعرف المادة A-H₂ بأنها المادة التي ستؤكسد كمعطى الأيدروجين Hydrogen donor والمادة B هي المادة التي ستختزل كمستقبل الأيدروجين Hydrogen acceptor ويلزم لإتمام عملية التأكسد والاختزال في البكتيريا ذاتياً توفر إنزيمات متخصصة وهي إنزيمات التنفس Respiration enzymes (Oxido-reductases) التي تعمل على تنشيط الأيدروجين في المادة المعطية للأيدروجين ليسهل نقله إلى المواد المستقبلة له . وعلى الرغم من أن هذه الإنزيمات تدخل في تفاعلات التأكسد والاختزال فهي لا تستنفذ في نهاية التفاعلات . ولذا تعتبر حاملة للأيدروجين Hydrogen carrier ولكل إنزيم منها صورتين واحدة مؤكسدة والأخرى مختزلة . وينقسم التنفس في البكتيريا عموماً إلى قسمين :

أولاً : التنفس الهوائي Aerobic respiration

وفيه يكون مستقبل الأيدروجين النهائي هو الأكسجين الجوى حيث يتم انتقال أيدروجين التفاعل إلى O₂ الجوى . ويتم الأكسدة في هذا النوع من التنفس بطريقتين هما :

أ- أكسدة كاملة Complete oxidation وتقوم البكتيريا الهيتروتوفية Heterotrophic bacteria بأكسدة المواد العضوية أكسدة كاملة إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ويتم ذلك عن طريق دورات حيوية pathways معينة . ويمكن ترجمة هذه الأكسدة بالمعادلة



بينما تقوم البكتيريا الممثلة للمواد المعدنية Chemolithotrophic bacteria بالأكسدة الكاملة للمواد المعدنية للحصول على الطاقة مثل ميكروب *Thiobacillus thiooxidans* ويمكن ترجمة هذا التفاعل كالاتى :

أيض وإنزيمات الخلية البكتيرية



ب- أكسدة غير كاملة Incomplete oxidation وفي هذا النوع من الأكسدة نجد أن الميكروبات الممثلة للمواد العضوية تقوم بأكسدة المادة العضوية جزئياً إلى مركبات تتراكم في بيئة النمو ومن أمثلة الميكروبات التي تقوم بهذا النوع من الأكسدة هي الميكروبات التابعة لجنس *Acetobacter* مثل بكتيريا حامض الخليك *Acetobacter aceti* التي تؤكسد كحول الإيثانول إلى حامض خليك . $CH_3-CH_2OH + O_2 \longrightarrow CH_3-COOH + \text{Energy}$

كذلك فطر *Aspergillus niger* الذي يؤكسد المادة العضوية إلى حمض ستريك . أما بالنسبة للميكروبات الممثلة للمواد المعدنية Nitrifying bacteria فتؤكسد المواد المعدنية جزئياً مثل ميكروب *Nitrosomonas* الذي يجرى التفاعل الآتي :



ويرجع حدوث الأكسدة الجزئية إلى عدة أسباب منها أن تكون كمية الأكسجين الميسرة تكون للميكروب غير كافية بحيث إذا توفرت فإن الميكروب قد يستطيع أن يقوم بالأكسدة الكاملة أو قد يكون الوقت غير كاف لإتمام الأكسدة الكاملة أو أن يكون الميكروب نفسه غير قادر على إتمام عملية الأكسدة الكاملة لعدم إمتلكه للنظم الإنزيمية اللازمة للقيام بالعملية .

أكسدة حمض البيروفيك Pyruvic acid oxidation

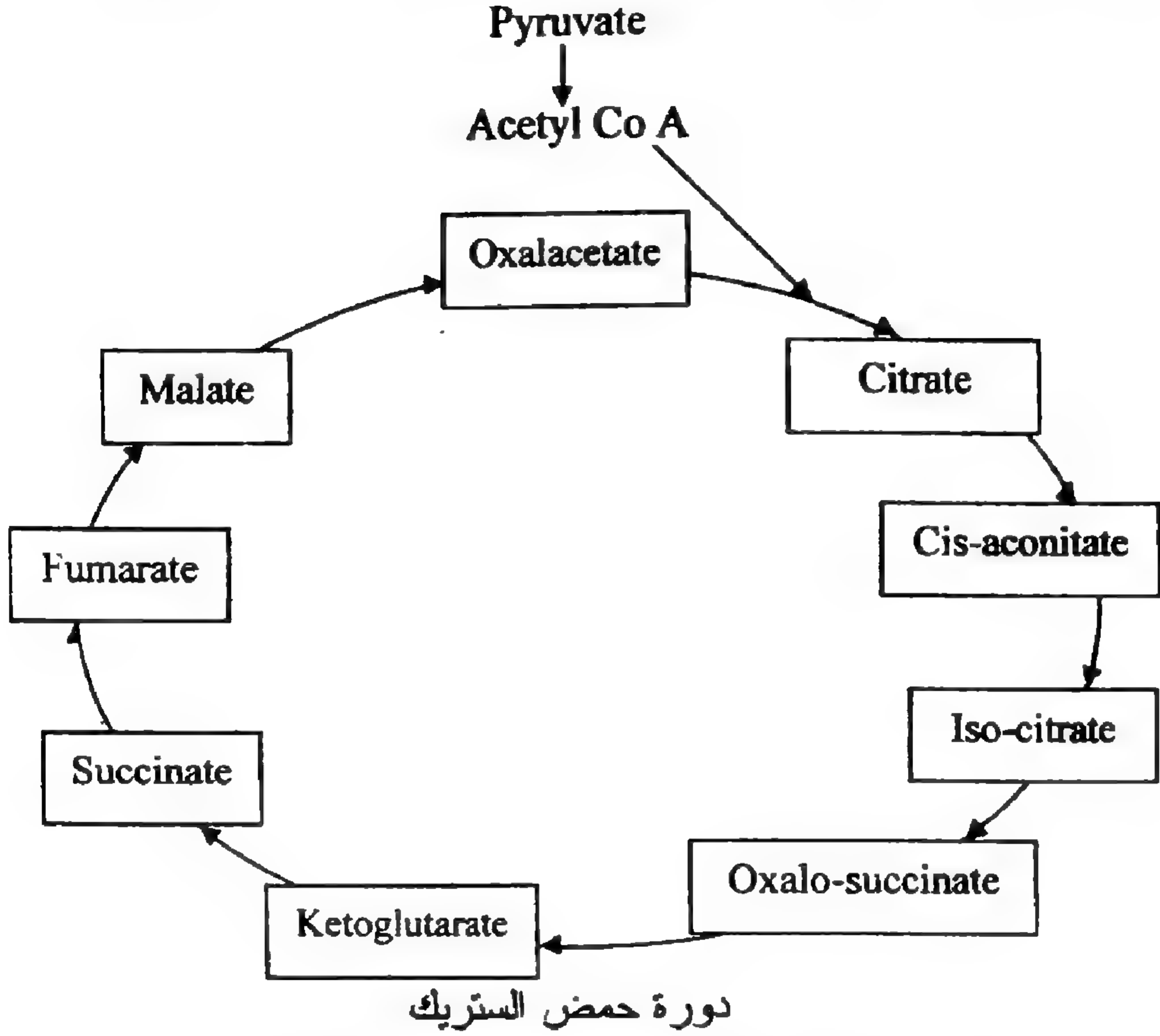
دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle

يعتبر تخمر الجلوكوز إلى حمض البيروفيك وتحوله إلى مركبات مختلفة أثناء نظم التخمر المختلفة ، من التفاعلات التي لا يشارك فيها الأكسجين الجوى ولذا فإن معظم كميات الطاقة الناتجة في الميكروبات اللاهوائية تنتج فقط خلال تكسر الجلوكوز إلى حمض بيروفيك أما

الميكروبات الهوائية واللاهوائية إختياراً أى الميكروبات التى لها القدرة على " ر فى وجود الأكسجين فإن لها القدرة على الإستمرار فى أكسدة حمض البيروفيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء . ويتم ذلك خلال دورة كريس Krebs والتي تعرف أيضاً باسم دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle أو دورة حمض الستريك ويدخل حمض البيروفيك الناتج من التخمير دورة حمض الستريك فى صورة Acetyl CoA الذى يتم تكثيفه مع حمض الأكسالخليك لتكوين حمض الستريك وهذا الحمض الأخير يدخل فى دورة تشمل سلسلة من تفاعلات الأكسدة يتكون من خلالها العديد من جزيئات المرافق الإنزيمى المختزل NADH مع إزالة ثانى أكسيد الكربون فى العديد من تفاعلات الدورة كما يؤدى ذلك إلى تكوين العديد من المركبات رباعية وخماسية الكربون . وآخر مركب رباعى يتكون فى الدورة هو حمض الأكسالخليك وعند هذه النقطة يعاد إتحاد هذا الحمض مع جزيئ Acetyl CoA ويعنى ذلك تمام أكسدة حمض البيروفيك خلال دورة واحدة الذى يدخل من أكسدته تكوين ثانى أكسيد الكربون والماء مع إنطلاق كميات كبيرة من الطاقة . ولا تعمل دورة كريس إلا فى وجود الأكسجين ليسنى أكسدة NADH وإنتاج الطاقة وبالتالي لا تعمل هذه الدورة إلا فى الميكروبات الهوائية أو الميكروبات اللاهوائية إختياراً التى تعمل فى وجود وغياب الأكسجين ولذا فإنها تنتج الطاقة فى غياب الأكسجين وتنتج الطاقة أيضاً فى توافر الهواء ولكن خلال دورة كريس .

وهنا ونلاحظ أن إنتاج كميات كبيرة من الطاقة فى صورة جزيئات ATP خلال الدورة نتيجة لأكسدة المرافق الإنزيمى المختزل NADH بنظام مختلف تماماً عن تكون ATP خلال تخمر الجلوكوز خلال دورة أمبدن مايرهوف بارانس أو الدورات الأخرى . إنتاج مركبات وسطية هامة هى

المركبات رباعية وخماسية الكربون والتي تعتبر مواداً أولية هامة لتخليق العديد من الأحماض الأمينية ومركبات أخرى هامة للخلية الميكروبية .



أيض المركبات الكربوهيدراتية Metabolism of carbohydrate

تعتبر الكربوهيدرات المواد الأساسية لإنتاج الطاقة وتكوين كثير من المركبات الكربونية في البكتيريا الممثلة للمواد العضوية فإذا ما نمت هذه البكتيريا على السكريات البسيطة كالجلوكوز فإنها تمتصه مباشرة وتؤكسده للحصول على الطاقة . أما إذا احتوت بيئة النمو على سكريات معقدة فإن البكتيريا تفرز عليها إنزيمات خارجية Extracellular تكسيرها لمكوناتها

الأساسية . إن السكريات الأحادية البسيطة حتى تتمكن من إمتصاصها وتمثيلها
سعض هذه الإنزيمات الخارجية تعتبر من إنزيمات التحلل المائي . ومن أمثلة
السكريات المعقدة التي تحللها البكتيريا النشا وهو عبارة عن سلسلة طويلة من
سكر الجلوكوز في الوضع ألفا يحلله الكثير من أنواع البكتيريا بإفراز مجموعة
إنزيمات الأميليز Amylases . ومن هذه المواد أيضا السليولوز وهو عبارة
عن سلسلة طويلة من سكر الجلوكوز في الوضع بيتا ولعدد قليل من البكتيريا
القدرة على تحليله بإفراز مجموعة إنزيمات السليوليز Cellulases . كذلك من
السكريات المعقدة المواد البكتينية وهي سلسلة طويلة من حمض
الجلالكتورونيك تحلله أنواع معينة من البكتيريا إلى وحداته البنائية .

ويلاحظ أن كمية الطاقة الفعلية الناتجة عن عمليات الهدم والتي
تستعمل في تفاعلات البناء غالبا ما تكون أقل من كمية الطاقة الكلية المتاحة
داخل الخلية . حيث وجد أنه عند التخمر الكحولي للسكريات فإن الطاقة
الحررة المتحررة بتحويل حريء واحد من الكربوهيدرات إلى ٢ جزئ من
كحول الإيثانول وجزئين من CO₂ تصل إلى ٥٦ كيلو كالورى فقط وفقاً
للمعادلة الآتية :



في حين أن الكمية التي تكون متاحة في الحقيقة لتسيير التفاعلات التي تستهلك
الطاقة تكون حوالى ١٦ كيلو كالورى . وعلى ذلك تكون الكفاءة الحقيقية
للتخمر الكحولى ٢٨,٥٧ % وأن بقية الطاقة الناتجة تفقد في صورة حرارة .

ومما سبق يتضح لنا أهمية إحتياج الخلية للطاقة لإتمام آلاف
التفاعلات التي تتم بها أى أن الخلية تحتاج للطاقة للقيام بكافة نشاطاتها
الحيوية فمثلا تحتاج الخلية للطاقة لمضاعفة كل مكون خلوى بها أثناء النكاث
بالإنقسام كما تحتاج الميكروبات المتحركة للطاقة للتنك من الحركة . ومن

هذا يتضح أن إنتاج الطاقة في الصورة الصالحة للإستخدام هو من التفاعلات الهامة في التمثيل الغذائي Metabolism ويجب الإشارة إلى فقد جزء من الطاقة الناتجة في التمثيل الغذائي في صورة حرارة .

ولكى تكون الطاقة المنتجة في صورة صالحة للإستخدام يحتاج الميكروب إلى مركبات خاصة لنقل الطاقة من مكان إنتاجها إلى المكان الذى يحتاج الطاقة لإتمامه . ومن أهم المركبات الناقلة للطاقة في الخلية الحية مركب ثلاثى فوسفات الأدينوسين (Adenosine triphosphate (ATP) . ويتم تخليق هذا المركب في الميكروبات من تكسير الجلوكوز والسكريات الأخرى وتستخدم الطاقة الناتجة لدفع تفاعلات البناء الحيوى Biosynthetic reactions التى تحتاج أو تستهلك كميات كبيرة من الطاقة . وترجع قابلية مركب ATP لنقل الطاقة لإحتوائه على روابط فوسفاتية غنية بالطاقة High energy phosphate bonds يرمز لها بالرمز (~) ويم تكوين هذا المركب في الكائنات الدقيقة بثلاث طرق مختلفة تتم في الميكروبات اللاهوائية والميكروبات الهوائية والميكروبات الممثلة للضوء .

ثانياً : التنفس اللاهوائى Anaerobic respiration

في هذا النوع من التنفس تتأكسد مادة التفاعل حيث يتم بنقل الأيدروجين منها على مادة أخرى غير الأكسجين الجوى وبالطبع فإن الأكسدة تكون غير كاملة وينتج عنها تكوين غازات وأحماض عضوية وكحولات ومواد أخرى . وتختلف هذه النواتج حسب نوع الميكروب وطبيعة مادة التفاعل ودرجة الحرارة والـ pH . وتجدر الإشارة إلى أن نمو الميكروب تحت الظروف اللاهوائية نتيجة إستهلاك وحدة واحدة من مادة التفاعل يعادل 5-6 مرات نموه في غياب الأكسجين بمعنى أنه في حالة التنفس الهوائى تتطلق كمية من الطاقة أكبر بكثير منها في حالة التنفس

اللاهوائى فنجد مثلا الخميرة تستطيع ان تنمو تحت كل الظروف الهوائية واللاهوائية ولكنها تستغل المواد الغذائية وخصوصا الكربوهيدراتية بكفاءة أكبر تحت الظروف الهوائية عن تلك الظروف اللاهوائية .

وقد أوضح باستير أنه يمكن الحصول على ١ جرام خميرة من ٤-١٠ جرام جلوكوز تحت الظروف الهوائية بينما تحتاج إلى ٦٠-٨٠ جرام جلوكوز للحصول على نفس كمية النمو وتحت الظروف اللاهوائية وهذا ما يطلق عليه تأثير باستير Pasteur effect .

الطاقة هي القدرة على أحداث العمل . وتحصل الكائنات الحية الدقيقة عموما على الطاقة اللازمة لها للقيام بكافة نشاطاتها الحيوية عن طريق تفاعلات الأكسدة والإختزال . وتتميز البكتيريا عن بقية الكائنات الحية بقدرتها على إستخدام مصادر طاقة متعددة . وتختلف مصادر الطاقة حسب نوع البكتيريا فنجد ان البكتيريا الممثلة للضوء Phototrophic bacteria تستخدم ضوء الشمس كمصدر للطاقة ، بينما تؤكسد البكتيريا الأوتوتروفية الممثلة للضوء Photolithoautotrophic bacteria المواد الكيماوية غير العضوية كمصدر وحيد للطاقة . والبكتيريا الممثلة للمواد العضوية Chemoorganoheterotrophic bacteria لها القدرة على أكسدة معظم المواد العضوية ولو أن المواد الكربوهيدراتية تمثل مصدر الطاقة الرئيسى لها بالإضافة إلى الأحماض العضوية والسكريات . وتستطيع أنواع عديدة من البكتيريا إستخدام الكثير من المواد الكربوهيدراتية كمصدر للطاقة فيما عدا القليل منها مثل ميكروب *Clostridium klyverii* الذى يؤكسد كحول الإيثانول كمصدر وحيد للطاقة .

ويجب تحويل الطاقة الناتجة عن عملية التنفس إلى الصورة الصالحة أو القابلة للإستفادة بواسطة الميكروب حتى إستخدامها فى عمليات البناء

والتخليق . ويتم ذلك عن طريق تفاعلات إنزيمية معقدة يحتوى بعضها على تفاعلات خاصة بالفوسفور العضوى والفوسفور غير العضوى (حامض الأرثروفوسفوريك) وبذلك يتم تحويل أو تخزين الطاقة فى مركبات غنية بالطاقة مثل ATP للاستفادة منها للبناء الخلوى . وتجدر الإشارة إلى أنه عند أكسدة مصدر كربوهيدراتى مثلا بواسطة البكتيريا فإن جزءا منه يتأكسد إلى ثانى أكسيد الكربون وماء للحصول على الطاقة والجزء الثانى يستخدم فى بناء كربوهيدرات الخلية بواسطة نظام يعرف باسم Oxidative assimilation باستغلال الطاقة الناتجة من أكسدة الجزء الأول . ومن هذا يتبين لنا أن عملية الأكسدة بصاحبها عملية تخليق مركبات غنية بالطاقة مثل ATP ، Acetyl Co A وهذا يعرف باسم Oxidative phosphorylation ويتم الحصول على الطاقة إما بالأكسدة المباشرة Direct oxidation . ويعتبر هذا النظام نادر الحدوث وفيه ينقل الإيدروجين من المادة المختزلة إلى الأكسجين الجوى مباشرة عن طريق إنزيم ديهيدروجينيز يسمى الأكسيديز الذى يختزل الأكسجين الجوى إلى فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 . أو يتم بالأكسدة بواسطة السيتوكروم . وفى هذا النظام نجد الأكسدة المباشرة بواسطة السيتوكروم Direct cytochrome pathway ينقل الإيدروجين إلى إنزيم الديهيدروجينيز الذى ينقله بدوره إلى مجموعة من صبغات السيتوكروم والأخيرة تختزل الكسجين إلى ماء . وهناك نظام الأكسدة غير المباشرة بواسطة السيتوكروم I_1 direct cytochrome pathway والذى يعتبر هذا النظام من أهم النظم لنقل أيدروجين مادة التفاعل إلى الأكسجين الجوى وفيه ينتقل الإيدروجين إلى إنزيم ديهيدروجينيز ومنه إلى سلسلة من الإنزيمات التى تنقله إلى صبغات السيتوكروم ثم إلى إنزيم سيتوكروم أوكسيديز الذى يختزل الأكسجين الجوى إلى ماء .

هذا ويعتبر التخمير Fermentation هو أبسط طرق الأيض الحيوى التى تؤدى إلى إنتاج الطاقة . ويعرف التخمير بأنه أى عملية تنتج طاقة والتي تعمل فيها المركبات العضوية كمعطية ومستقبلة للإلكترونات فى غياب الأكسجين . وتعتبر الكربوهيدرات من مواد التفاعل الأساسية فى عملية التخمير . وكثير من الكائنات التى تحصل على ما يلزمها من الطاقة عن طريق التخمير تعتبر كائنات غير هوائية إجباراً ، وبعض الكائنات غير الهوائية إختياراً تكون قادرة أيضاً على أن تنمو إما فى وجود أو غياب الهواء وأن تقوم بالتخمير . وهناك حالات نجد فيها أن بعض الكائنات غير الهوائية التى تقوم بعملية التخمير تغير من نظم الأيض الحيوى التى تنتج بها الطاقة عندما تتعرض للهواء ، وأن وجود الأكسجين الجزيئى يؤدى إلى حدوث إنتقال أيض من التخمير إلى التنفس .

ولكن توجد مجموعة من البكتيريا وتعتبر غير هوائية إختياراً ، وهى بكتيريا حمض اللاكتيك فإن وجود الأكسجين لا يغير من طريقتها الإيضية المنتجة للطاقة فهى تواصل التخمير حتى ولو كانت نامية فى الهواء .

وتوجد دورات حيوية Pathways مختلفة لتخمير الكربوهيدرات تختلف باختلاف المجاميع الميكروبية المختلفة . وأن كل مادة كربوهيدراتية أو مادة مشتقة من الكربوهيدرات يمكن أن تستعمل كمصدر لإنتاج الطاقة التخمرية بواسطة بعض الكائنات الدقيقة .

وأن أى مصدر مثل الجلوكوز يمكن أن يتخمير ويتحول عن طريق أحد المسارات المعينة إلى حمض بيروفيك والذي يعتبر مركب وسطى أثناء التحولات التخمرية للكربوهيدرات . وعن طريق دورة Glycolytic pathway يتحول الجلوكوز إلى حمض البيروفيك كمادة وسطية ويسمى هذا النظام باسم The Embden-Meyerhof system .

أيض وإنزيمات الخلية البكتيرية

ويحدث هدم للجلوكوز ، ويصاحب ذلك إنتاج طاقة في صورة روابط غنية بالطاقة مثل مركب ATP وتكوين مركب الـ NAD المختزل كالآتي :



Pi = Inorganic phosphate

أما تحت الظروف الهوائية في حالة التنفس فإن حمض البيروفيك المتكون يتأكسد خلال دورة كربس وينتج عن ذلك عديد من المواد مثل CO_2 والماء ومركب ATP .

ويلاحظ أن حمض البيروفيك الناتج من عمليات هدم الجلوكوز يمكن أن يهدم بواسطة المجاميع البكتيرية أو غيرها من الخلايا الحية بإحدى الطرق الأيضية الآتية :

١- التخمر اللاكتيكي The lactic fermentation

مثل بكتيريا حمض اللاكتيك متماثلة التخمر Homofermentative lactic acid bacteria ويتم ذلك أيضاً بداخل خلايا العضلات . وفي كلا الحالتين يلزم ظروف غير هوائية تماماً لحدوث هذا النوع من التخمر وقد يكون الناتج حمض لاكتيك فقط Homolactic fermentation كما يلي :

Lactic dehydrogenase



فهى تعطى حمض لاكتيك فقط مثل بكتيريا *Streptococcus* sp. ،

Lactobacillus sp. أو يكون ناتج هدم حمض البيروفيك عديد من النواتج

تسمى Heterofermentative منها حمض لاكتيك ومواد أخرى مثل كحول

إيثانول و CO_2 وحمض فورميك فيطلق على هذا النوع من التخمر تخمر

لاكتيكي مختلط Heterolactic fermentation .

يثبت بجزئ البيروفيك جزئ CO_2 وذلك عن طريق عملية Carboxylation ليكون حمض لوكسالاسيتيك Oxalacetic acid ، وهو أحد المركبات الوسطية في دورة كريس . ويمكن عن طريق عمليات Transamination أن تتحول إلى أحماض أمينية مثل الأئين وهذا يعتبر أحد طرق ارتباط التحولات الأيضية الكربوهيدراتية بالتحولات الأيضية للبروتينية .

٢- التخمر المختلط The mixed fermentation

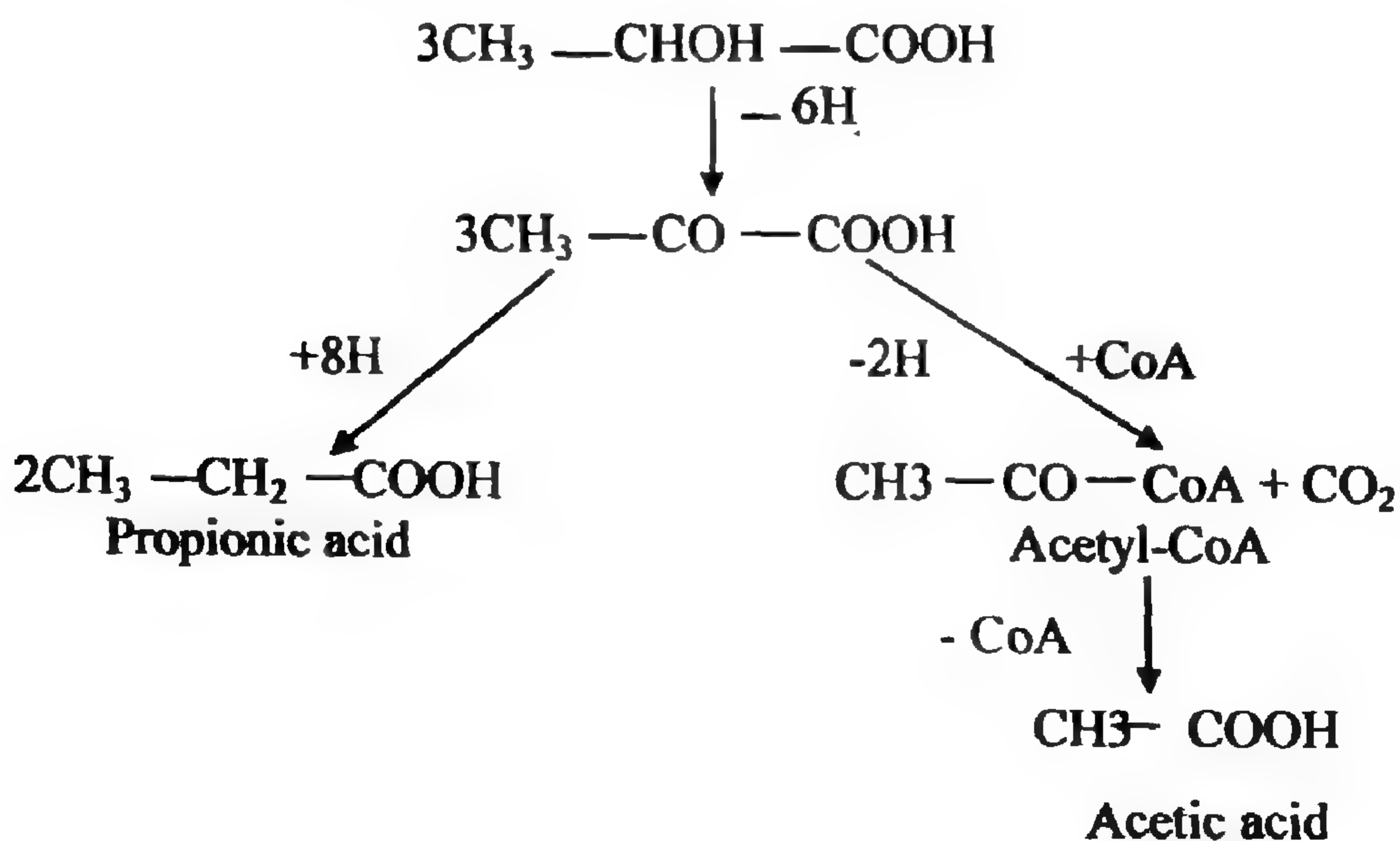
في كثير من البكتيريا غير الهوائية إختباراً مثل البكتيريا التابعة للأجناس *Escherichia* و *Salmonella* و *Shigella* و *Vibrio* و *Proteus* تحدث تخمراً مختلطاً . كما في حالة بكتيريا *E. coli* فإن مجمل التفاعل يمكن تمثيله بالآتي :



وفي بعض الحالات مثل أنواع من *Shigella* لا يتكون CO_2 و H_2 بل يحل محلها بكميات متكافئة ناتج نهائي هو حمض الفورميك $HCOOH$ ، وهو مصدر إنتاج الغازات بهذه البكتيريا ، إلا أن بعض أنواع جنس *Clostridium* يمتلك إنزيم يحول البيروفيك إلى $\text{Acetyl Co A} + H_2$ ، والذي يتكون CO_2 مباشرة دون تكوين حمض فورميك كمركب وسطي . وعلى ذلك ففي بكتيريا *E. coli* فإن حمض الفورميك يتحول إلى CO_2 و H_2 ، والذي يمكنه أن يتحد مع الحمض الأميني جليسين ليتكون حمض السيرين والذي يدخل بدوره في التفاعلات الأيضية للبروتينات أو في تكوين البيورينات ، فهو بذلك لا يعتبر من المواد المستغنى عنها بل يستخدم في العمليات البنائية الخلوية . كما يمكن أن يتكون في بعض البكتيريا غير الهوائية إختباراً مثل أنواع تابعة للأجناس *Erwinia* و *Aerobacter* و *Serratia* وبعض أنواع

من الجنس *Bacillus* بجانب النواتج النهائية المختلفة السابق الإشارة إليها ناتج آخر نهائى هو 2,3-butanediol أو Acetoin أو حمض البيوتريك أو كحول البيوتانول أو الأسيتون .

وإن تحويل جزء من البيروفات إلى Acetoin أو 2,3-butanediol كنواتج نهائية متعادلة يقلل بدرجة كبيرة كميات الأحماض المتكونة بالنسبة لتلك التى تنتج فى دالة التخمر المختلط . هناك مجموعة من بكتيريا *Propionibacterium* يمكنها أن تنتج حمض البروبيونيك نتيجة لتخمر حمض الستريك الذى يتحد مع CO_2 ويتحول إلى حمض بروبيونيك بواسطة إنزيم معين يوجد فى بكتيريا حمض البروبيونيك . كما يمكن لحمض البروبيونيك أن يتكون فى بعض بكتيريا حمض البروبيونيك على حساب حمض اللاكتيك الذى يمكن أكسدته إلى حمض بيروفيك ، وهذا يتأكد بدوره فى وجود CoA إلى Acetyl-CoA أو يختزل إلى حمض بروبيونيك :



٣ - إنتاج الأسيتالدهيد Production of acetaldehyde

وفى هذه الطريقة يتحول حمض البيروفيك إلى أسيتالدهيد نتيجة عملية إزالة ثانى أكسيد الكربون Decarboxylation of CO₂ . وهذه العملية قليلة الأهمية فى البكتيريا ولكنها مهمة فى خلايا الخميرة ، حيث أن إختزال الأسيتالدهيد إلى كحول إيثانول يعتبر الطريق الوحيد لتكوين كحول الإيثانول بواسطة خلايا الخميرة . إلا أن هناك بعض الدلائل على أن بعض البكتيريا يمكنها إختزال حمض الخليك إلى كحول إيثانول ، بالرغم من قدرة أكسدة الأسيتالدهيد المتكون بواسطة الخميرة إلى حمض خليك .

٤ - التحلل الجليكولى Glycolysis

يعتبر التخمير Fermentation أو التحلل الجليكولى Glycolysis من أهم النظم التى تستخدمها الكائنات الحية الدقيقة لتكسير سكر الجلوكوز أو السكريات السداسية المشابهة مع تخليق جزيئات ATP . فمثلاً تقوم الخميرة بتكسير الجلوكوز إلى ثانى أكسيد الكربون والكحول الإيثيلي



بينما يتم تحلل الجلوكوز ببعض أنواع البكتيريا مثل Streptococcus Lactobacillus لتكوين حمض اللاكتيك



ويلاحظ فى المعادلتين السابقتين عدم وضوح كيفية تكوين ATP أثناء عملية التحلل وتسمى نظم التمثيل الغذائى التى تتم فيها تكوين المركبات الفوسفاتية الغنية بالطاقة مثل ATP باسم تفاعلات الهدم Catabolism وقد أطلق هذا الاسم نظراً لهدم أو تكسير الجلوكوز أو السكريات المماثلة لتحويل طاقتها الكامنة إلى طاقة صالحة للاستخدام فى صورة مركبات فوسفاتية غنية بالطاقة ثم

نقل هذه الطاقة إلى مركب ADP فيتحول إلى مركب ATP وهو كما سبق القول الناقل للطاقة في الصورة الصالحة للاستخدام ويتم تحلل الجلوكوز بنظم مختلفة في الكائنات الدقيقة تبعاً لتوفير الإنزيمات اللازمة لكل نظام في الميكروب إلا أننا سنكتفى بدراسة نظام واحد كمثال لهذه النظم وهو نظام إمبدن مايرهوف Embden-Meyerhof pathway وهو أكثر النظم شيوعاً لتكسير الجلوكوز بالميكروبات ويمكن تلخيص خطوات هذا النظام كالآتي :

وعند دراسة دورة إمبدن مايرهوف يجب ملاحظة النقاط التالية:

١- يتم فسفرة جزئ سكر الجلوكوز على خطوتين باستخدام جزيئين من

ATP لإنتاج هكسوز ثنائي الفوسفات Fructose 1-6 diphosphate .

٢- يتم تكسير الفركتوز ١-٦ داي فسفات بإنزيم الألدوليز إلى مركبين كل

منهما مفسفر وثلاثي ذرات الكربون Triosephosphate .

٣- يتم تمثيل أو اندماج الفوسفات الغير عضوي (Pi) في المركب ثلاثي

الكربون المفسفر لتكون مركب ترايوز ثنائي الفوسفات

Triose-diphosphate .

٤- يختزل جزيئين من المرافق الإنزيمي NAD إلى NADH لاكتساب

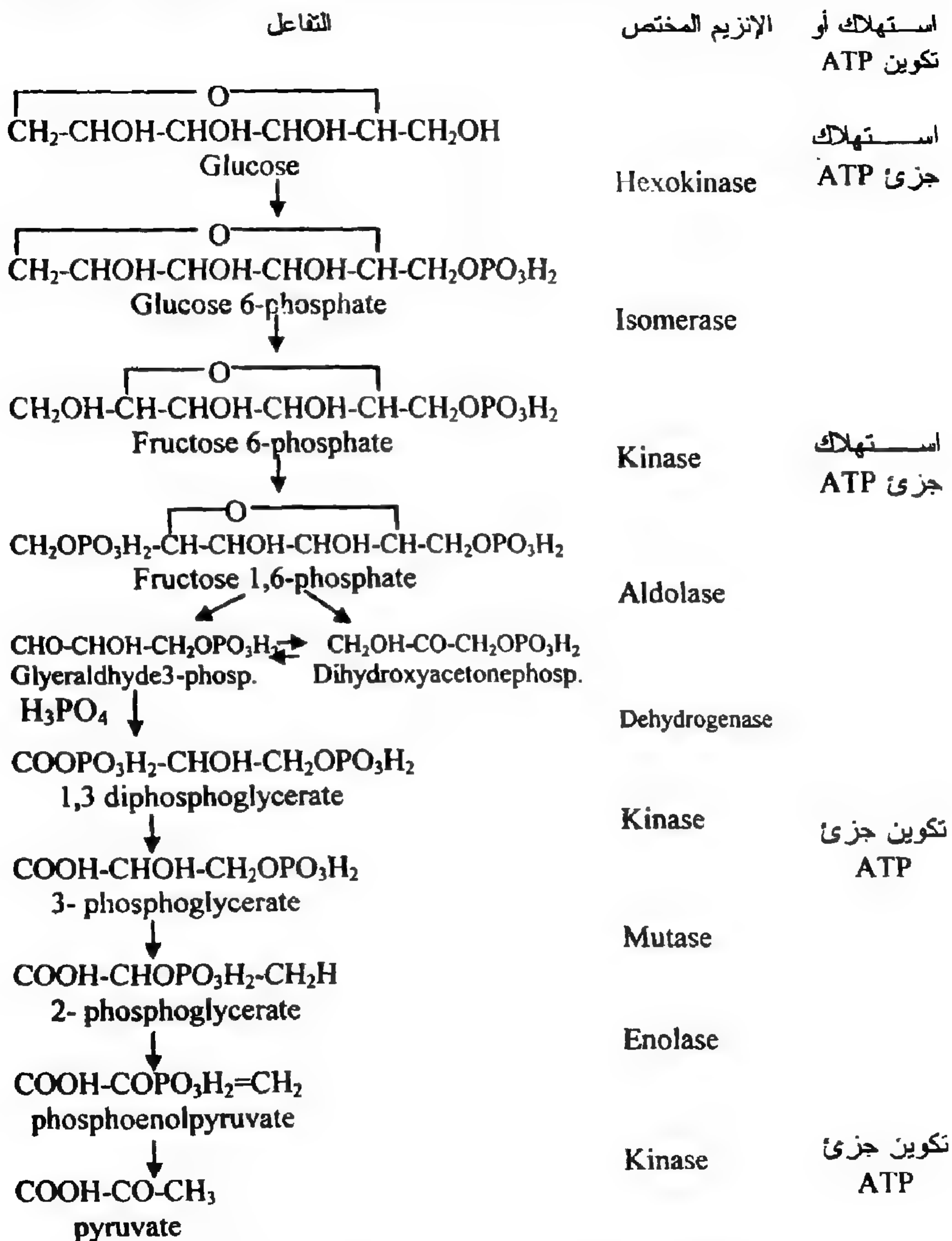
أربع ذرات أيروجين من المركب ثنائي الفوسفات .

٥- يتكون أربع جزيئات من ATP بإمرار الفوسفات من المركب ترايوز

ثنائي الفوسفات (٣ ذرات كربون) إلى ADP .

٦- يستخدم مركب NADH المختزل والناجح في الخطوة الأولى لإختزال

حمض البيروفيك إلى حمض لاكتيك أو لإختزال الأسيتالدهيد إلى إيثانول.



دورة التحلل الجليكولي (نظام إمدن - ماير هوف - بارانس)
Glycolysis cycle (E.M.P. pathway)

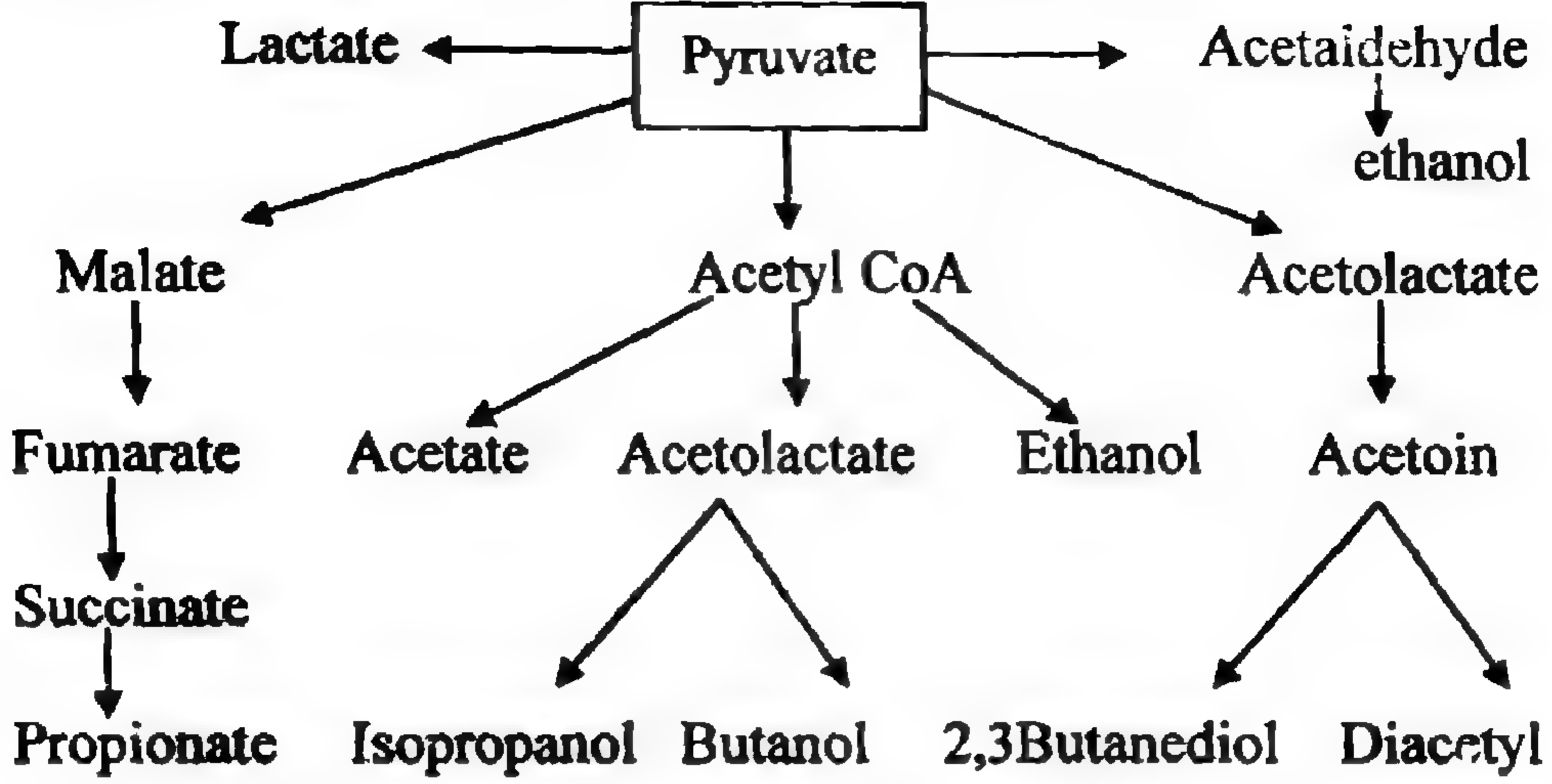
وبذا ينتج من تخمر جزئ واحد من الجلوكوز تكون جزيئين من حمض اللاكتيك وأربعة جزيئات من ATP . وإذا أخذنا في الاعتبار استخدام جزيئين من ATP لفسفرة الجلوكوز في بداية الدورة فإن الناتج النهائي هو إستفادة الخلية لتكوين جزيئين فقط من ATP لكل جزئ من الجلوكوز يتم هدمه وبذلك يتضح أن تفاعلات الهدم التي تتم خلال دورة إمدن مايرهوف لو الدورات الأخرى التي تستخدمها الميكروبات المختلفة لتكسير الجلوكوز لها فوائد هامة هي :

أ- إنتاج الطاقة في الصورة الصالحة أي في صورة ATP وهي الطاقة اللازمة لدفع تفاعلات البناء الحيوي التي تحتاج للإستهلاك طاقة كبيرة وأيضاً استخدام هذه الطاقة في كافة النشاطات الحيوية الأخرى للميكروب.
ب- إنتاج قوة إختزالية في صورة NADH أو NADPH لازمة لدفع بعض تفاعلات البناء في الإتجاه المطلوب .

ج- نتج مركبات بسيطة هامة خلال خطوات تكسير الجلوكوز وتعتبر هذه المواد مواداً أولية Precursors لازمة لبدء سلسلة تفاعلات البناء .

هـ- تخمر حمض البيروفيك Pyruvic acid fermentation

تستخدم الميكروبات نظم عديدة كنظام إمدن مايرهوف لتكسير أو تخمير الجلوكوز وتكوين مركب وسطي أساسي هو حمض البيروفيك إلا أن النواتج النهائية لتخمير هذا الحمض تختلف من ميكروب لآخر حسب النظام الإنزيمي الموجود بالميكروب ولذا تستخدم قدرة الميكروب على إنتاج مركبات مختلفة من تخمر الجلوكوز كوسيلة فعالة في تعريف وتصنيف الميكروبات . يوضح الشكل التالي أهم أنواع التخمرات التي تقوم بها الكائنات الدقيقة .



أيض المركبات النيتروجينية Metabolism of nitrogenous compounds

تقوم الحيوانات بتمثل معظم إحتياجاتها من النيتروجين على صورة مركبات نيتروجينية عضوية Organic nitrogen كالأحماض الأمينية . ويجب أن يحتوى غذاء الحيوان على نحو ١٠ أحماض أمينية لعدم قدرته على تخليقها بنفسه ولذا تسمى الأحماض الأمينية الأساسية Essential amino acids . وعلى عكس ذلك يمثل النبات النيتروجين على صورة أمونيا أو نترات أى يحتاج النيتروجين فى صورة مركبات نيتروجينية غير عضوية Inorganic nitrogen ويستخدم النبات الأمونيا ومركبات الكربون الناتجة من تحليل الكربوهيدرات لتخليق كل إحتياجاته من الأحماض الأمينية اللازمة لتخليق البروتين .

أما بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا والخمائر والفطريات فإنها تختلف كثيراً فى إحتياجاتها الغذائية فبعضها يحتاج توفر بعض الأحماض الأمينية والبيورينات والبريميدينات فى بيئة النمو بينما يستخدم البعض الآخر الأمونيا أو النترات فقط لتخليق كل إحتياجاتها من المركبات

النيتروجينية العضوية ولبعض الكائنات الدقيقة القدرة على تثبيت أزوت الجو في صورة أمونيا يستخدمها الميكروب لتمثيل الأحماض الأمينية التي يمكن إيجها أو على الأقل نقل مجموعة الأمين بها ($-NH_2$) إلى مركبات عضوية نيتروجينية كالبيورين والبريميدين .

ونتيجة لقدرة هذه الكائنات الدقيقة على تثبيت الأزوت وتمثيل الأمونيا المثبتة في صورة مكونات خلوية فإن الكائنات الدقيقة تلعب دوراً هاماً في دورة النيتروجين في الطبيعة كما أن قدرة الكائنات الدقيقة على تحليل البقايا الميتة والمتحللة تؤدي إلى إعادة النيتروجين مرة أخرى لدورة النيتروجين. ويتم تثبيت الأزوت في صورة أمونيا بنظام إنزيمي معقد يعرف باسم معقد النيتروجينيز Nitrogenase complex أو إنزيم النيتروجينيز ويحتاج تثبيت الأزوت إلى استهلاك كمية طاقة كبيرة في صورة جزيئات ATP وإلكترونات محمولة بمرافق إنزيمي يعرف باسم الفيرودوكسين Ferredoxins إذ أنه من المرافقات الإنزيمية المعروفة في تفاعلات الأكسدة والإختزال التي لها القدرة على العمل في جهد أكسدة وإختزال منخفض جداً .

١- تمثيل الأمونيا Ammonia assimilation

بمجرد تكون الأمونيا بنظام النيتروجينيز في الميكروبات المثبتة للأزوت أو إمداد الميكروبات غير المثبتة للأزوت بالأمونيا في بيئة النمو فإنه يلزم تمثيل الأمونيا إلى مركبات عضوية كالأحماض الأمينية . وعلى الرغم من وجود ٢٠ حمضاً أمينياً أو أكثر في جزئ البروتين إلا أن عدداً قليلاً من الأحماض الأمينية يمكن تخليقها مباشراً من الأمونيا مثل تحويل أحماض كيتونية معينة إلى أحماض أمينية بإضافة الأمونيا وعند وجود الإنزيم المناسب مثل تكون حمض جلوتاميك مباشرة نتيجة تمثيل الأمونيا .

٢- تفاعلات الأحماض الأمينية Reactions of amino acids

تتعرض الأحماض الأمينية لسلسلة من التفاعلات الإنزيمية في الميكروبات ويلعب المرافق الإنزيمي البيريدوكسين Pyridoxine دوراً أساسياً فيها . ويمكن تلخيص أهم تفاعلات الأحماض الأمينية في الجدول التالي:

المجموعة	نوع التفاعل	الإنزيم المتخصص	المزلة أو المنقولة
إزالة مجموعة الكربوكسيل	Decarboxylation	Decarboxylases	- COOH
إزالة مجموعة الأمين	Deamination	Deaminases	- NH ₂
إزالة مجموعة السلفاهيدريل	Desulfuration	Desulfurases	- SHNH ₂
نقل مجموعة الأمين	Transamination	Transaminases	- NH ₂
تكوين المشابهات	Racemization	Racemases	- H

وهذه التفاعلات هي تفاعلات هدم من الدرجة الأولى إلا أن بعضها يلعب دوراً هاماً في عمليات البناء .

٣- تخليق الأحماض الأمينية Biosynthesis of amino acids

عند دراسة طرق تخليق الأحماض الأمينية يتم تقسيمها عادة إلى خمس مجموعات تسمى كل مجموعة منها باسم عائلة Family وفي كل عائلة يتم تكوين حمض أميني أساسي من الهيكل الكربوني المناسب له Precursor ويلي ذلك تخليق باقي أحماض العائلة وعادة ما تعرف العائلة باسم هذا الحمض الأميني الأساسي وهذه العائلات هي عائلة حمض الجلوتاميك ، والبيروفيك ، والأسبارتيك ، وحمض السيرين والجليسين ، عائلة الأحماض الأمينية الحلقية .

٤ - تخليق البروتين Protein Biosynthesis

يتكون جزئ البروتين من اتحاد مئات من جزيئات الأحماض الأمينية بروابط ببتيدية ويتسلسل معين في كل مرة يتم فيها تكوين نفس جزئ البروتين . ومن هذا يتضح أن تخليق البروتين يتطلب وجود نظام شفرة Coding system معين ينظم أوتوماتيكياً دخول كل حمض أميني في تسلسله المعين عند تخليق جزئ البروتين .

٥ - هدم البروتين

لا تستطيع الخلية البكتيرية الاستفادة مباشرة من جزئ البروتين نظراً لكبر وزنه الجزيئي ولذا تفرز عليه الإنزيمات المحللة للبروتينات Proteolytic enzymes التي تكسر الرابط الببتيدية التي تربط الأحماض الأمينية ببعضها في جزئ البروتين على النحو التالي :

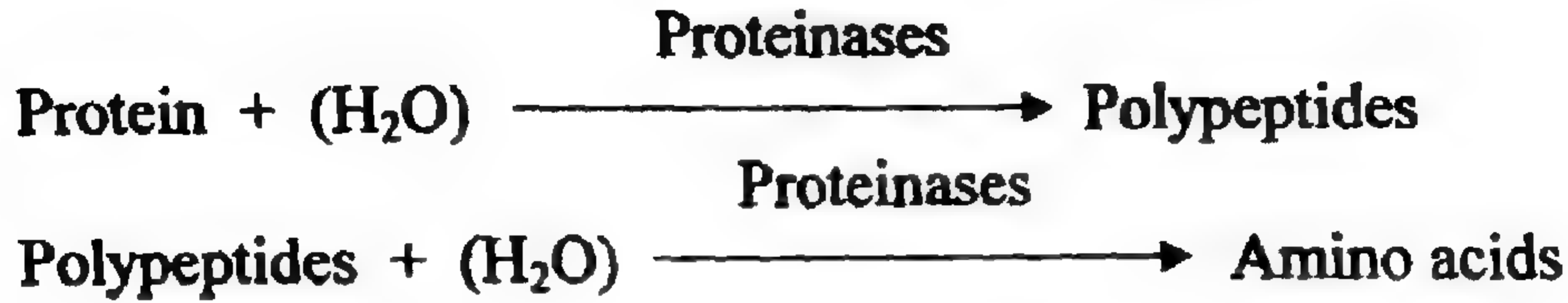
بروتين - بروتيوز - بيتون - ببتيدات عديدة - ببتيدات ثنائية - أحماض أمينية

وعادة تقسم الإنزيمات المحللة للمواد البروتينية إلى قسمين رئيسيين exopeptidases وهي الإنزيمات التي تكسر الروابط الببتيدية الطرفية في الجزئ وإنزيمات Endopeptidases التي تكسر الروابط الببتيدية الداخلية وتلعب إنزيمات القسم الأخير الدور الأساسي في تكسير جزئ البروتين .

وكثير من الميكروبات لها القدرة على تكسير الأحماض الأمينية الناشئة من تكسير جزئ البروتين بطرق عديدة . ونظراً لأن جزئ البروتين كبير الحجم فلا ينفذ داخل الخلية البكتيرية ولا يمكن الاستفادة منه كمادة غذائية . لذلك يجب أن يتحلل أولاً إلى مركبات أصغر حجماً وأن عملية تحليل البروتين يطلق عليها Proteolysis أي التحلل المائي للبروتين ويصاحب ذلك إفراز إنزيمات تفرز خارج الخلية تحلل البروتين Extracellular proteolytic enzymes وليست كل البكتيريا قادرة على

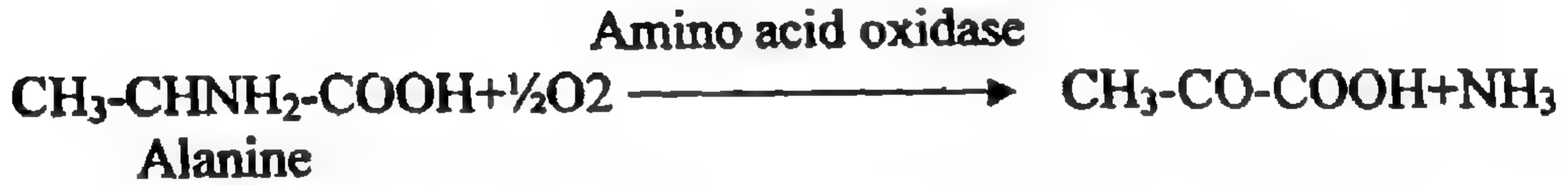
ابيض وانزيمات الخلية البكتيرية

إفراز هذه الإنزيمات . ومن بين هذه البكتيريا بعض أنواع تابعة للأجناس Clostridium و Proteus و Pseudomonas و Bacillus . ويعتقد أن عملية تحلل البروتينات تتم كالاتى :



والنتيجة النهائية للنشاط المحلل للبروتين هو إنتاج الأحماض الأمينية وهذه الأحماض الأمينية تستطيع أن تدخل الخلية البكتيرية ، وقد يحدث لها خطوات هدم أخرى مثل :

١- إزالة مجموعة الأمين Deamination



وتعتبر عملية أكسدة Oxidative deamination

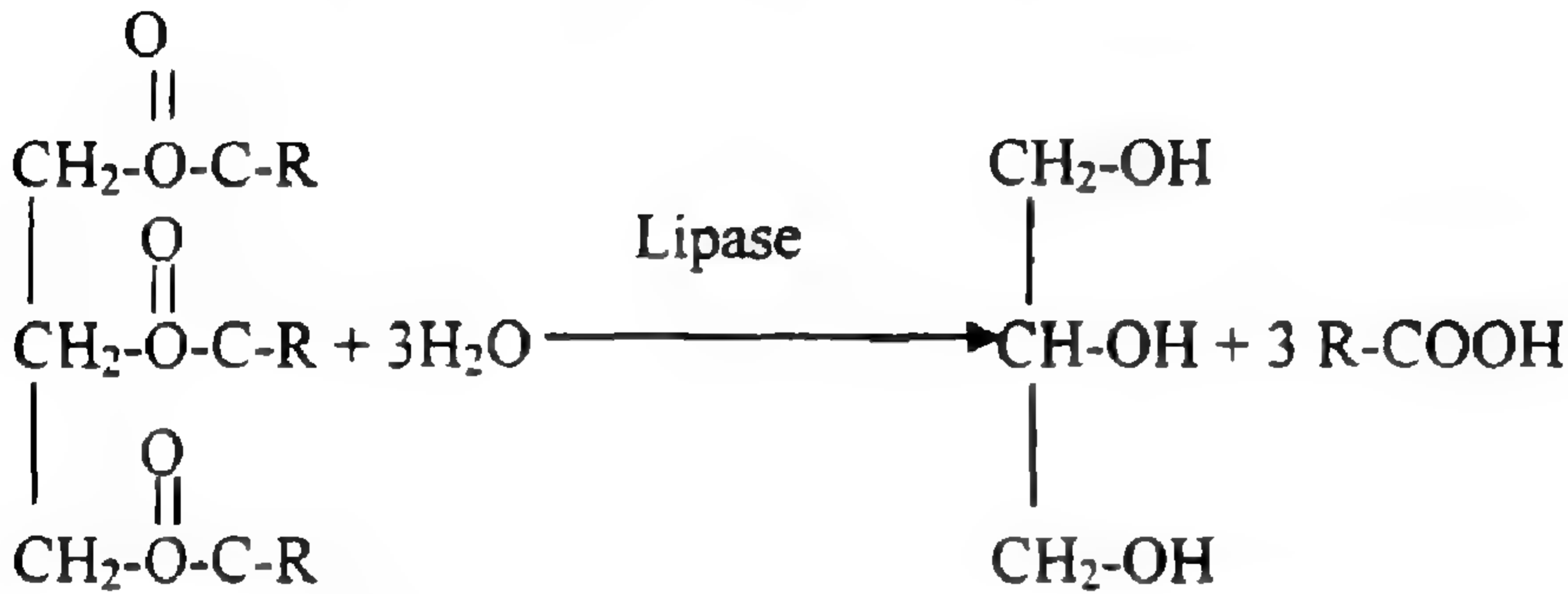
٢- إزالة مجموعة الكربوكسيل Decarboxylation



وأن النواتج النهائية لهدم الأحماض الأمينية ليس من الضروري أن تكون إزالة مجموعة الأمين أو مجموعة الكربوكسيل ، كما فى حالة بكتيريا *E. coli* حيث يحدث هدم للحمض الأميني تريبتوفان ويتكون الأندول وحمض البيروفيك والأمونيا .

أيض الدهون Metabolism of fats

يمكن لبعض البكتيريا أن تحلل الجلسريدات إلى جليسيرول وأحماض دهنية وتسمى العملية Lipolysis وذلك بإفراز إنزيمات Lipase



وبذلك يتحلل الدهن إلى جليسيرول وأحماض دهنية . ويلاحظ أن الجليسيرول والأحماض الدهنية قد يحدث لها خطوات هدم أخرى أو تستعمل في بناء دهون جديدة . وتتخلص أهمية الهدم في إمداد الكائن بالطاقة اللازمة للعمليات الحيوية ، تكوين مواد هامة تستعمل في عمليات بناء مواد خلوية . هذا علاوة على أن البناء يشمل عمليات كثيرة مثل بناء البروتوبلازم وإنزيمات والجدر الخلوية . وتبنى مواد تفرز خارج الخلية مثل المضادات الحيوية وعديدات السكر والصبغات .. الخ .

ثانيا : الإنزيمات البكتيرية Bacterial enzymes

تعتبر الخلية البكتيرية كأي خلية حية لا بد لها لكي تقوم بنشاطها وتفاعلاتها الحيوية من القيام بإحداث تغيرات في المركبات التي تتناولها كغذاء أو كمصدر للطاقة ويتم هذه التغيرات والتفاعلات بمساعدة عوامل حيوية خاصة تتمير بها الخلايا تسمى الإنزيمات Enzymes . وتعرف الإنزيمات بأنها مركبات عضوية معقدة تفرزها الخلايا الحية لها خاصية إسراع التفاعلات الكيميائية بدون أن تستهلك أثناء التفاعل وتخرج من التفاعل بحالتها

الطبيعية لتستطيع أن تقوم بنفس التفاعل مرة أخرى وبنفس الكفاءة . لذلك يلزم كمية ضئيلة جداً من الإنزيمات لإحداث التفاعل بكميات مناسبة من المادة الداخلة في التفاعل . وعلى الرغم من أن البكتيريا تنتج عدداً كبيراً جداً من الإنزيمات إلا أن كل نوع من البكتيريا ينتج أنواعاً معينة من الإنزيمات مميزة له وكذا فإن الكميات التي تكونها البكتيريا تختلف من نوع لآخر .

أنواع الإنزيمات :

وتقسم الإنزيمات البكتيرية على أساس إفرازها في وجود أو غياب مادة التفاعل Substrate إلى إنزيمات بنائية أساسية Constitutive enzymes وهي الإنزيمات التي تفرزها الخلايا البكتيرية في وجود أو غياب مادة التفاعل ويتحكم في إنتاج هذا النوع من الإنزيمات التركيب الوراثي للبكتيريا . إنزيمات تنتج بالحث Inducible (Adaptive) enzymes وهي الإنزيمات التي تفرزها البكتيريا في وجود مادة التفاعل فقط ويتحكم في إنتاجها عوامل أربعة هي التركيب الوراثي لسلاسل البكتيريا ، وجود مادة التفاعل ، توفير الأحماض الأمينية اللازمة لتكوين بروتين الإنزيم المطلوب إفرازه ، علاوة على مصدر الطاقة الملائم لتخليق الإنزيم.

ويلاحظ أن الخلية البكتيرية تحصل على غذائها بالانتشار الغشائي لذلك فلا بد أن تكون المواد الغذائية على صورة ذائبة لكي تتمكن من المرور إلى داخل الخلية وحيث أن كثيراً من المواد الغذائية للبكتيريا توجد على حالة غير ذائبة أو على صورة جزيئات كبيرة معقدة لا يمكنها النفاذ خلال الغشاء السيتوبلازمي للخلايا لذلك فإن الخلية البكتيرية تفرز نوعين من الإنزيمات .

١- إنزيمات خارجية Extracellular enzymes وهي الإنزيمات التي تفرزها الخلايا في الوسط الخارجي أو البيئة التي تنمو فيها . وتؤثر هذه الإنزيمات على المواد الغذائية المعقدة حيث تقوم بتكسيرها وتحويلها إلى

مواد بسيطة ليسهل دخولها إلى الخلية مثل الإنزيمات المحللة للنشا والبروتين والسليلوز . وقد تستخدم مثل هذه الإنزيمات في تكسير المواد الضارة والسامة إلى مواد أقل ضرراً أو إلى مواد غير ضارة .

٢- إنزيمات داخلية Intracellular enzymes وهي الإنزيمات التي تفرزها الخلية البكتيرية داخل الخلية نفسها للقيام بعمليات التحولات الغذائية المختلفة وذلك للحصول على الطاقة اللازمة للحركة والتكاثر وبناء خلايا جديدة .

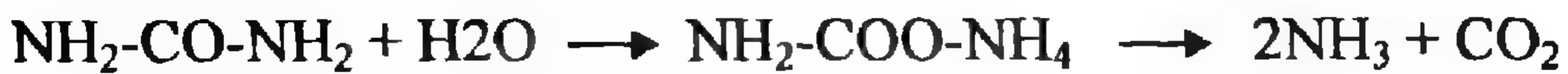
العوامل التي تتحكم في تخليق الإنزيمات البكتيرية

هناك عوامل وراثية تتحكم في إنتاج الإنزيمات وتحتوى الخلية الميكروبية على نظم التحكم بداخلها بعكس الأنسجة الأخرى للخلايا الراقية حيث توجد نظم التحكم خارج الخلية ، وتعتبر نظم الحث Induction والتثبيط Repression من العوامل المتحكمة في تكوين ونشاط الإنزيمات . على سبيل المثال نجد أن ميكروب *E. coli* لا ينتج إنزيم β -galactosidase الذى يقوم بتكسير اللاكتوز إلى جلوكوز وجلاكتوز . ولكن إذا نما ميكروب *E. coli* في بيئة يكون مصدر الكربون الوحيد فيها هو اللاكتوز والذى يعتبر كمادة حاثّة على تكوين ونشاط الإنزيم ، حيث تقوم بعض المركبات بحث منطقة معينة في كروموزم الخلية البكتيرية ويبدأ جزيء DNA فى إعطاء إشارة لتخليق الإنزيم الخاص المراد تكوينه . وقد يحدث التحكم بطريقة مباشرة ويتم ذلك نتيجة ظروف التفاعل الإنزيمى خارج الخلية فكما هو معروف فإن زيادة تركيز مادة التفاعل يزيد من سرعة التفاعل إلى أن تصل إلى حد معين وعلى العكس فإن الزيادة فى ناتج التفاعل عن حد معين وهو الذى يسمح به ثابت الإتزان للتفاعل فإنه يؤدي إلى التقليل من سرعة التفاعل أو قد يمنع الناتج النهائى كلية .

هناك بعض من الإنزيمات الأقل في التخصص والتي قد ترتبط مع مجموعة واسعة من مواد التفاعل . ويتحكم في ذلك الروابط الكيميائية المتخصصة والموجودة على مادة التفاعل والمسئولة عن الاتحاد مع الإنزيم في مواقع الربط . كذلك يعتقد أن مجموعة الفوسفور (P^-) والسلفاهيدريل (SH) تعتبر من المجاميع التي لها دوراً مساعداً على مواقع Catalytic sites . هذا ويجب عند دراسة الإنزيمات وعند قياس نشاطها لابد من معرفة طبيعة التفاعل الإنزيمي ، وجود مرافقات إنزيمية أو عوامل مساعدة ، الظروف البيئية المناسبة للتفاعل الإنزيمي . وكذلك طريقة القياس المثلى للنشاط وهي تكون طريقة بسيطة لتقدير واختفاء مادة التفاعل الإنزيمي أو قياس تكون ناتج التفاعل النهائي كوسيلة لقياس النشاط الإنزيمي .

طبيعة الإنزيم Nature of enzyme

تعتبر الإنزيمات مركبات بروتينية ذات وزن جزيئي مرتفع جداً وعلى ذلك فإن لها خواص البروتينات فهي تكون محلولاً غروباً ولا تتفد خلال الأغشية شبه المنفذة ولها خواص أمفوتيرية ويمكن ترسيبها من محاليلها بنفس الطرق التي يترسب بها البروتينات . تتميز الإنزيمات بأنها متخصصة في التفاعلات التي تنشطها وذلك على خلاف كثير من المواد المنشطة المعدنية ومعنى هذا أن لكل إنزيم تفاعل معين ينشطه ، ولا يستطيع أن يقوم بالتفاعل مع مواد أخرى خلاف مادة التفاعل الخاصة به . ويعزى تخصص الإنزيمات إلى طبيعة بروتين الإنزيم . وهذا التخصص إما أن يكون تخصص مطلق Absolute specificity بمعنى أن الإنزيم متخصص لمادة واحدة فقط مثل إنزيم اليورياز Urease فإنه يقوم بتحليل اليوريا فقط والذي يتم كما في التفاعل الآتي :



وقد يكون تخصص الإنزيم لمجموعة معينة Group specificity وفى هذه الحالة فإن التخصص للإنزيم يكون أوسع من السابق حيث تكون إنزيمات متخصصة لمجموعة معينة مثل Lipases فهى متخصصة للدهون ولكنها غير قادرة على تحليل الكربوهيدرات مثلا . ويوجد أيضاً تخصص لنوع الرابطة الكيماوية Stereochemical specificity كما يوجد فى إنزيم المالتيز Maltase المتخصص فى تحليل المواد الكربوهيدراتية التى توجد بينها روابط جليكوزيدية من النوع ألفا α -glucosides ولكنها لا تؤثر على الروابط الجليكوزيدية التى من النوع بيتا β -glucosides . أما فى حالة تخصص الكفاءة النسبية Relative efficiency فإن الإنزيم يكون أكثر كفاءة فى تحليل نوع من الروابط عن النوع الآخر مثل إنزيم β -glucosidase الذى يحلل الروابط التى من النوع بيتا أسرع من الروابط الجليكوزيدية الأخرى فى جزئ الكربوهيدرات .

كذلك تتأثر الإنزيمات بالحرارة بدرجة كبيرة مثلها فى ذلك مثل البروتينات . وتؤدى الحرارة المرتفعة ($50-60^{\circ}$) إلى تثبيط نشاط الإنزيم ماعدا الإنزيمات المتحملة للحرارة العالية Thermostable enzymes التى تستطيع تحقيق نشاط ملموس فى درجات الحرارة العالية التى قد تصل إلى $65-70^{\circ}$ م . وهذه الإنزيمات قد تنتج بواسطة ميكروبات محبة للحرارة العالية Thermophiles أو ميكروبات تعيش فى درجات الحرارة المتوسطة Mesophiles .

ولقد بينت الدراسات أن الإنزيم الكامل Halo-enzyme يتركب من جزئين هما Apoenzyme وهو عبارة عن جزء بروتينى وله وزن جزيئى كبير ويختلف تركيبه من إنزيم إلى آخر وإليه يرجع تخصص الإنزيم وهو سريع التأثير بالحرارة . أما الجزء الثانى فهو المرافق الإنزيمى Coenzyme

وهو الجزء الذى لابد من إتحاده بالإنزيم لى يصبح الإنزيم نشطاً وهو أما أن يكون فيتامين معين أو مجرد أيون معدنى وفى هذه الحالة يسمى Activator أو منشط . ولكل إنزيم مرافق إنزيمى معين لا يستطيع إستبداله بغيره . والمرافق الإنزيمى عند مقارنته بالـ Apoenzyme ، نجد أنه غير بروتينى ووزنه الجزيئى أقل ، وأكثر مقاومة للحرارة ، وغير متخصص . ويجب الإشارة إلى أن بعض الإنزيمات لا تحتاج لمرافق إنزيمى للقيام بنشاطها أى أن الإنزيم فى هذه الحالة يتكون من بروتين فقط .

ويمكن توضيح وتبسيط ميكانيكية عمل الإنزيم بأن التفاعل يتم بين الإنزيم الكامل Haloenzyme وبين مادة التفاعل Substrate وهذا الإتحاد يكون عن طريق جزء معين من الإنزيم يسمى مركز نشاط الإنزيم Active center وهذا الجزء يكون مهيباً لإستقبال مادة معينة من المواد فقط ومن هنا يتضح تخصص الإنزيمات . وبعد إتحاد الإنزيم مع مادة التفاعل وإنهاء التفاعل ينفصل عن الإنزيم نواتج التفاعل ويظل الإنزيم بحالته الأصلية دون أن تعثره أى تغير . هذا ولم يتم حتى الآن تحديد هل إتحاد الإنزيم مع مادة التفاعل إتحاد طبيعى أم كيمائى .

ويمكن الكشف عن النشاط الإنزيمى بمدى إختفاء مادة التفاعل . أو بقياس ناتج التفاعل . ويقدر النشاط الإنزيمى عادة بمدى مساهمة الإنزيم فى التفاعلات المختلفة وهذا النشاط عادة ما يقاس بوحدات النشاط Units of activity وتعرف هذه الوحدة بأنها كمية الإنزيم التى تعمل على تحويل وحدة من مادة التفاعل فى وحدة الزمن تحت الظروف القياسية . وهذه الوحدة عالمية وتستخدم لمقارنة النشاط الإنزيمى .

وهناك ما يسمى بالنشاط النوعى Specific activity وهو مقياس له أهمية كبيرة ويستعمل للدلالة على نقاوة الإنزيم وهو ناتج من قسمة النشاط

الإنزيمى المقدر بالوحدات على كمية الإنزيم أو البروتين الإنزيمى المستخدم وهو هام جداً عند مقارنة نقاوة الإنزيمات المختلفة . وعادة ما ينتهى اسم الإنزيم بالمقطع ase الذى يضاف إلى اسم مادة التفاعل وتسمى الإنزيمات أيضاً تبعاً لطبيعة التفاعلات الكيماوية التى تساعد فيها . وهناك إنزيمات تسمى تبعاً لمادة التفاعل التى تعمل عليها بدون إضافة ase مثل الببسين والتربسين وغيرها من الإنزيمات .

العوامل المؤثرة على نشاط الإنزيم

توجد عدة عوامل تؤثر على كفاءة التفاعلات الإنزيمية وأهمها ما يلى :

١- الرقم الأيدروجينى pH لكل إنزيم رقم أيدروجينى أمثل Optimum يكون عنده التفاعل أقصاه ورقم أيدروجينى أدنى Minimum لا يحدث التفاعل عند درجة أقل منه ورقم أقصى Maximum لا يحدث التفاعل إذا ارتفع الرقم الأيدروجينى عنه .

٢- درجة الحرارة Temperature يزداد معدل التفاعل الإنزيمى تدريجياً برفع درجة الحرارة حتى تصل إلى درجة معينة يكون عندها النشاط الإنزيمى فى أقصاه وهى الدرجة المثلى Optimum temperature . هذا ويزيد معدل التفاعل الإنزيمى بزيادة درجة الحرارة إلى حد معين ثم يقل بعد ذلك نتيجة حدوث عملية الدنترة Enzyme's denaturation . وعملية الدنترة فى البروتين تشمل كسر روابط هيدروجينية وأخرى روابط غير تساهمية ومن أمثلة ذلك ما يحدث لألبومين البيض عند التعرض للحرارة والتحول إلى صورة أخرى . ويمكن أن تحدث الدنترة نتيجة مؤثرات كيماوية مثل الأحماض المركزة والقواعد والمعادن الثقيلة والكحولات والأشعة فوق البنفسجية . وإذا رفعت الحرارة عن هذه الدرجة يحدث

تتأقصر ملموس فى النشاط الإنزيمى حتى يتوقف التفاعل ويرجع ذلك لتأثير الجزء البروتينى للإنزيم بالحرارة .

٣- تركيز الإنزيم Enzyme concentration كلما زاد تركيز الإنزيم كلما كان النشاط أعلى حتى يصل إلى درجة تركيز معينة لا يصبح لزيادة التركيز بعدها أى تأثير على زيادة نشاط التفاعل الإنزيمى .

٤- تركيز مادة التفاعل Substrate concentration كلما زاد تركيز مادة التفاعل كلما زاد النشاط الإنزيمى إلى حد معين وبعدها يتوقف هذا التأثير. يزيد معدل التفاعل بزيادة مادة التفاعل إلى حد معين ثم يثبت ولك للوصول إلى حالة التشبع الإنزيمى أو إلى إشغال المواقع النشطة بمواد التفاعل أو ناتج التفاعل قبل انفصالها . وتحت هذه الظروف فإن الزيادة فى تركيز مادة التفاعل لا تؤثر على معدل التفاعل بالزيادة إلا إذا أضيف المزيد من تركيز الإنزيم .

٥- المثبطات Inhibitors تعتبر دراسة المثبطات الإنزيمية من الطرق الفعالة للتحكم فى نمو البكتيريا وذلك بالتحكم فى معدل التفاعلات الإنزيمية . فهناك من المثبطات مثل السيانييد والسليمانى التى تتحد مع الإنزيم لمنع إتمام التفاعلات وبالتالي لوقف النمو الميكروبي . وتنقسم هذه المثبطات حسب تفاعلها إلى مثبطات تنافسية Competative inhibitors ومثبطات لا تنافسية Non competative inhibitors حيث يتنافس النوع الأول مع مادة التفاعل على الارتباط بالمواقع النشطة على الإنزيم حيث أنه يشبه مادة التفاعل الأصلية وعند إتحاده مع المواقع النشطة على الإنزيم لا ينفصل بعد ذلك إلى إنزيم حر وأمواد الناتجة Products . وبعضها تتحد عكسياً مع الأحماض الأمينية على المواقع النشطة مما يتيح الفرصة لحدوث تفاعل آخر إن وجد .

ومن أمثلة المثبطات التنافسية مركب السلفانيل أميد Sulfanil amide وهو من أدوية السلفا حيث يثبط الإنزيم الذي يتفاعل مع مادة تفاعل . وهو من الأغذية المناسبة للبكتيريا والتي يستخدمها البكتيريا لتخليق حمض الفوليك وهو الفيتامين الذي يعمل كمراقب إنزيمي . وعند تواجد السلفا أميد فإن الإنزيم الذي يتحد مع حمض البارامينو بنزويك (PABA) لتكوين حمض الفوليك يتحد بدلاً منه مع السلفانيل أميد وبالتالي لا يخلق حمض الفوليك. ونظراً لأن الخلية الأمية لا تحتاج إلى PABA لتخليق حمض الفوليك فإن المعاملة بأدوية السلفا (السلفانيل أميد) تقتل البكتيريا ولا تؤثر على الخلية الأمية.

أما المثبطات اللاتنافسية فلا تتنافس مع مادة التفاعل على الجزء أو الموقع النشط ولكنها تعمل على جزء آخر من الإنزيم ولذلك تسمى Allosteric inhibition حيث ترتبط مع مادة التفاعل مما يسبب تغير في شكل المواقع النشطة وتصبح غير فعالة وبالتالي يقل النشاط الإنزيمي . وهذا التأثير قد يكون عكسي أو غير عكسي . ومن أمثلة المثبطات اللاتنافسية التي تثبط الإنزيمات التي تحتاج في نشاطها إلى أيونات معدنية حيث ترتبط المثبطات اللاتنافسية مع هذه الأيونات المعدنية وبالتالي تمنع التفاعل الإنزيمي . ومن أمثلة ذلك السيانييد الذي يتحد مع الحديد الموجود في هيموجلوبين الدم ويمنعه من حمل الأكسجين مسبباً الاختناق Suffocation . وقد تعمل المثبطات اللاتنافسية كمواد منظمة للتفاعل فيطلق عليها اسم "Feedback inhibition" end product inhibition . وعملية التنظيم هذه تمنع تكوين مواد حيث يقوم الناتج النهائي بتنشيط خطوة من خطوات التفاعل . مثال ذلك ما يحدث بميكروب *E. coli* حيث إنتاج حمض Isoleucine من الحمض الأميني Threonine تحتاج خمس خطوات في كل خطوة يساعد في

التفاعل إنزيم معين . فعند إضافة الحمض الأميني الأيزوليوسين إلى بيئة النمو فإن الإنزيم الأول في سلسلة تحويل الثريوثين إلى الأيزوليوسين يحدث له تثبيت حتى يستهلك الحمض الأخير في النمو فيعود للميكروب إلى إنتاجه مرة أخرى . وهذه العملية هي وسيلة للتحكم في تنظيم إنتاج الأحماض الأمينية والفيتامينات والقواعد النيتروجينية . ويختلف الإنزيمات بدرجة تأثيرها بالظروف البيئية باختلاف درجات حموضة الوسط ومن المعروف أن الإنزيمات اللازمة في عمليات البناء تنتج بغض النظر عن تركيبها أما الإنزيمات المنشطة فإنها تنتج كاستجابة لتأثير المواد المنشطة.

تقسيم الإنزيمات :

تقسم الإنزيمات حسب فعلها المساعد إلى ستة مجاميع وفي كل مجموعة تبعاً للتفاعلات المتخصصة كالآتي :

١ - إنزيمات الأكسدة والاختزال Oxidoreductases

وهي تشمل تفاعلات الأكسدة والاختزال وخلال تفاعلات الأكسدة فإن مادة التفاعل تفقد هيدروجين وهناك مادة تفاعل أخرى تكتسب أكسجين . وهذه المجموعة من الإنزيمات تحتاج إلى جزئ غير مرتبط ليرتبط بالجزء البروتيني حتى تصبح في صورة نشطة مثل إنزيم Dehydrogenase وخلال هذه التفاعلات يتم إكتساب أو فقد أكسجين أو إكتساب أو فقد أيديروجين أو إكتساب أو فقد إلكترونات .

٢ - إنزيمات النقل Transferase

وهي تقسم داخليا حسب مكان المجموعة المنقولة وهي الإنزيمات التي تقوم بنقل Transfer of functional groups مثل إنزيمات Decarboxylase ، Deaminase .

٣- إنزيمات التحلل المائي Hydrolytic enzymes

وهي مجموعة من الإنزيمات تستعمل جزئ ماء في عملها حيث يدخل في عملية التحليل وهي مجموعة من الإنزيمات الهامة في عملية الهضم مثل إنزيمات الأميليز والبروتيز والسليوليزات .

٤- إنزيمات Lyases

تقوم هذه المجموعة بفصل مجاميع C-O ، C-N ، C-C

٥- إنزيمات المتشابهات Isomerases

وهي تساعد في تفاعلات تحول المركبات إلى متشابهات مثل إنزيم Xylose isomerase وتسمى تفاعلاتها Isomerization .

٦- إنزيمات Ligases

حيث يتحد الكربون مع كربون في مركب لو أكسجين أو نيتروجين أو كبريت ومن أمثلة هذه المجموعة Glutathione synthase وهي مجموعة من الإنزيمات الهامة في عمليات البناء . كذلك تقوم هذه المجموعة الإنزيمية بربط جزيئين أثناء عمليات التخليق مع إنشطار في إحدى الروابط الغنية بالطاقة مثل ATP .

التطبيقات العملية للإنزيمات الميكروبية

تستعمل الإنزيمات في كثير من الصناعات الهامة وكذلك في كثير من الأغراض الطبية وتجدر الإشارة إلى أن معظم الإنزيمات ذات التطبيق العملي هي من إنزيمات التحلل المائي . وتفضل الكائنات الحية الدقيقة خاصة البكتيريا والفطريات إنتاج الإنزيمات على النطاق التجاري نظراً لسهولة إستخلاص الإنزيمات الميكروبية الخارجية ، إنخفاض تكاليف الإنتاج نظراً لإستخدام مواد رخيصة الثمن في الإنتاج . هذا علاوة على أن الكائنات الحية الدقيقة تتميز بإفرازها لعدد كبير جداً من الإنزيمات يغطي أغلب المتطلبات

الصناعية والطبية . هذا بجانب إمكان إنتاج عدد كبير من الإنزيمات اللازمة لغرض معين Enzymatic system ومن نوع واحد من الخلايا البكتيرية بدلاً من إنتاجها من مصادر أخرى . وتستخدم الإنزيمات الميكروبية في المجال الصناعي في أغراض كثيرة منها صناعة الجلود والجبن وكثير من الصناعات الغذائية مثل الإنزيمات المحللة للبروتين مثل البروتينيز . كما تستخدم الإنزيمات في صناعة النسيج وزيادة حلاوة الأغذية النشوية وترويق عصير الفاكهة والنبذ (الإنزيمات المحللة للمواد الكربوهيدراتية مثل الأميليز البكتيري والفطري) كما يستخدم إنزيم جلوكوز أوكسيداز Glucose oxidase في إنتاج حامض الجلوكورونيك من سكر الجلوكوز وفي معاملة مسحوق البيض المجفف لمنع فسادة . كذلك تستخدم الإنزيمات الميكروبية في المجال الطبي في صناعة الأقراص الهاضمة المحتوية على إنزيمات محللة للكربوهيدرات والدهون والبروتينات كما استخدمت حديثاً في إزالة التشوهات الناتجة عن الحروق وتجدر الإشارة إلى أن الإنزيمات الميكروبية تستخدم على نطاق واسع في معامل التحليل الطبي البكتريولوجي للمساعدة في تشخيص كثير من الأمراض كاستخدام إنزيم الجلوكوز أوكسيداز في تقدير نسبة الجلوكوز في بول مرضى السكر .

الفصل التاسع :

عوامل البيئة والخلية البكتيرية

عوامل البيئة والخلية البكتيرية

Environmental factors and bacterial cell

تعتبر البكتيريا ككل الأحياء الأخرى على سطح الأرض تتأثر بالوسط المحيط بها . تتميز البكتيريا بأن لها المقدرة على مواعمة نفسها بالنسبة للتغيرات التي تحدث بالوسط المحيط بها على عكس الأحياء الأخرى النباتية أو الحيوانية الأكثر رقياً . ودراسة العوامل المختلفة التي تتحكم في نمو وتكاثر البكتيريا تجعلنا قادرين على التحكم في نشاط البكتيريا بزيادته أو بتقليله أو إيقاف النمو نهائياً حسب الحاجة وتقسيم العوامل التي تؤثر على نمو ونشاط البكتيريا إلى عوامل طبيعية وعوامل كيميائية ويمكن إيضاح هذه العوامل كما يلي :

لولا : العوامل الطبيعية Natural factors

١- درجة الحرارة Temperature

إن كل عمليات النمو تعتمد على تفاعلات بيوكيميائية وتتم بواسطة بواسطة الإنزيمات داخل الخلايا وحيث أن معدل هذه التفاعلات البيوكيميائية يتأثر بدرجة حرارة التفاعل لذا نجد أن الحرارة تحدد جزئياً معدل النمو وكميته النهائية . كما أنها تؤثر على عمليات التمثيل الغذائية والشكل المظهري للخلايا وبدرجة كبيرة .

وعموماً تستطيع البكتيريا أن تنمو في نطاق متسع من درجات الحرارة وإن كانت تختلف في هذه القدرة من نوع إلى آخر ، فمثلاً بكتيريا *B. subtilis* تنمو بين ٦-٥٠°م وبكتيريا القولون *E. coli* تنمو في مجال حراري من ١٠-٤٥°م . بينما يوجد هناك أنواع أخرى لها نطاق حراري ضيق للنمو مثل ميكروب السل *Mycobacterium tuberculosis* الذي ينمو

بين ٣٠-٤٠°م وميكروب السيلان الذى لا ينمو إلا بالقرب من ٣٧°م . ولكل نوع من البكتيريا وأحيانا لكل سلالة بكتيرية ثلاث درجات حرارة هي :

أ- درجة الحرارة الدنيا Minimum growth temperature

وهي أقل درجة حرارة يمكن للميكروب أن ينمو عندها بحيث إذا انخفضت درجة الحرارة درجة واحدة عنها فإن الميكروب لا يستطيع النمو . وتجدر الإشارة هنا بأن درجة نمو الميكروب لا تصل إلى أقصاها من الناحية الفسيولوجية على هذه الدرجة وكذلك النشاط الإنزيمى خاصة الخارجى منه .

ب- درجة الحرارة المثلى Optimum growth temperature

وهي أنسب درجة حرارة للنمو وعند هذه الدرجة يكون النمو سريعا وكميته كبيرة علاوة على وصول الحالة الفسيولوجية إلى قمته والنشاط الإنزيمى إلى أقصاه .

ج- درجة الحرارة القصوى Maximum growth temperature

وهي أعلى درجة حرارة يمكن للميكروب أن ينمو عندها بحيث إذا ارتفعت درجة الحرارة عنها يقف نمو الميكروب .

والنطاق الحرارى Growth temperature range الذى يستطيع ان ينمو عنده الميكروب يقع بين درجتى الحرارة الدنيا والقصوى وتختلف الأنواع الميكروبية المختلفة بالنسبة لدرجات الحرارة المذكورة . وعموما فإن البكتيريا التى تعيش فى التربة الزراعية والماء لها درجة حرارة مثلى تقع بين ٢٢-٢٨°م . أما البكتيريا الممرضة فدرجة حرارتها المثلى ٣٧°م وهي من درجة حرارة الجسم .

وعلى أساس درجة الحرارة المثلى تقسم الميكروبات فسيولوجيا إلى ثلاثة أقسام :

أ- بكتيريا محبة للبرودة Psychrophilic bacteria

وهي البكتيريا التي درجة حرارتها المثلى أقل من 10°C وهي توجد في المبردات والأجواء الباردة وتسبب فساد الأغذية المخزنة في الثلاجات . وهذه تقسم إلى مجموعتين أحدهما إجبارية Obligate psychrophiles وهي التي تموت عند درجة حرارة 20°C لو أكثر قليلاً والمجموعة الأخرى إختيارية Facultative psychrophiles حيث تكون درجة الحرارة المثلى والقصى لها تكونان في النطاق الحرارى للـ Mesophiles ولكنها بعكس للـ Mesophiles حيث تستطيع النمو على درجات حرارة قريبة لو أقل من الصفر . كذلك قدرت الحدود الحرارية المختلفة للبكتيريا المحبة للبرودة على أن تكون الدرجة المثلى تتراوح بين $10-18^{\circ}\text{C}$ بالنسبة للبكتيريا المحبة للبرودة إجباراً بينما تكون بين $20-30^{\circ}\text{C}$ بالنسبة للبكتيريا المحبة للبرودة إختياراً. أما درجة الحرارة القصوى فقد وجدت بين $19-22^{\circ}\text{C}$ للمجموعة الأولى وتراوح بين $30-35^{\circ}\text{C}$ للمجموعة الثانية .

تأثير درجة الحرارة المنخفضة على النمو الميكروبي

Effect of low temperature on microbial growth

عند إنخفاض درجة الحرارة فإن التمثيل الغذائى للخلايا الميكروبية يقل بسرعة حتى يصل إلى حالة سكون Dormancy عندما تنخفض درجة حرارة الوسط عن الدرجة الدنيا لنمو الميكروب . فإذا وصلت درجة الحرارة إلى درجة التجمد Freezing فإن بعض الخلايا تموت بطريقة ميكانيكية بسبب تمزيق بلورات الثلج المتكونة للخلية البكتيرية ولكن الكثير من الخلايا لا يموت ويتحمل التجميد لمدة طويلة . ولذا فإن التجميد لا يعتبر طريقة من طرق التعقيم بل يقلل الأعداد فقط ويوقف تأثير التجميد على الخلايا البكتيرية على السرعة التي يتجمد بها الماء داخل الخلية وعلى ذلك فإن التجميد السريع Rapid freezing يكون أقل ضرراً من التجميد البطئ

Slow freezing إذ أن الأخير يسبب تكون بلورات ثلجية كبيرة حادة تمزق الخلية بينما حالة التجميد السريع تؤدي إلى تكوين بلورات ثلجية صغيرة ذات شكل قطني . ومن الفوائد العظيمة لاستخدامات درجات الحرارة المنخفضة هو استخدامها في صورة تسمى التجفيد Lyophilization وهي التي تحفظ بها المزارع البكتيرية لعدة شهور على درجة حرارة منخفضة بوضعها في الثلجة وحديثاً أمكن حفظها لمدة طويلة جداً تصل إلى عدة سنوات باستعمال طريقة التجفيد وهي طريقة تجمع ما بين التجميد والتجفيف وذلك بتجميد المزرعة تجميداً سريعاً على درجات حرارة منخفضة جداً تصل إلى -78°C بواسطة الثلج الجاف (CO_2 الصلب) ثم تجفيف المزرعة المتجمدة بالتسامي تحت تفريغ . وتحفظ الميكروبات المجففة في أنابيب اختبار محكمة القفل مفرغة في مكان بارد مظلم وبذا تبقى حية لسنين طويلة .

كذلك وجد عند درجات الحرارة المنخفضة فإنه يحدث إنخفاض في معدلات التفاعلات الإنزيمية حتى يحدث تجمد في كل النظام . وحتى عهد قريب لم يكن هناك تفسير مقنع بأن معظم البكتيريا المحبة للحرارة المتوسطة يقف نموها عند درجة $10-15^{\circ}\text{C}$ ، وكذلك معظم البكتيريا المحبة للحرارة المرتفعة عند $40-45^{\circ}\text{C}$ ، إلا أنه قد ثبت حديثاً أنه بإنخفاض الحرارة فإن نواتج التفاعل في بعض الإنزيمات تحدث تثبيطاً للتفاعل نفسه حتى يقف التفاعل تماماً وبالتالي يقف النمو . وعملياً قد وجد أن الأغذية المجمدة يمكنها الاحتفاظ بكائنات دقيقة حيث وجد أن البكتيريا التي تسبب التيفود *Salmonella typhi* يمكن عزلها من أغذية محفوظة لمدة عام على درجة -20°C .

ب- بكتيريا محبة للحرارة المتوسطة Mesophilic bacteria

وهي البكتيريا التي لها درجة حرارة مثلى تتراوح بين $15-45^{\circ}\text{C}$ وينتمي إلى هذا القسم أغلب أنواع البكتيريا مثل بكتيريا التربة الزراعية

والماء والبكتيريا الممرضة. وتعرف البكتيريا المحبة للحرارة المتوسطة والتي تستطيع خلاياها الخضرية أن تتحمل درجة حرارة البسترة العادية باسم البكتيريا المقاومة للحرارة Thermoduric . وقد وجدت الحدود الحرارية لهذا النوع من البكتيريا تقع بين $10-15^{\circ}\text{C}$ ، $20-45^{\circ}\text{C}$ ، $35-47^{\circ}\text{C}$ وذلك بالنسبة للدرجات الدنيا ، المتلى ، القصوى على الترتيب .

ج- بكتيريا محبة للحرارة المرتفعة Thermophilic bacteria

وهي البكتيريا التي درجة حرارتها المتلى أعلى من 45°C وتوجد طبيعياً في العيون الساخنة وفي السماد الصناعي وسماد الأسطبل وفي التربة الزراعية أيضاً وفي الأغذية المطبوخة بالحرارة حيث تؤدي هذه البكتيريا إلى فساد هذه الأغذية ما لم تبرد بسرعة بعد المعاملة الحرارية وتقسم البكتيريا المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة إلى بكتيريا محبة لدرجات الحرارة المرتفعة اختياريًا Facultative thermophiles وهي التي تستطيع النمو أيضاً عند درجات الحرارة المتوسطة . بينما المجموعة الثانية هي بكتيريا محبة لدرجات الحرارة المرتفعة إجباراً obligate thermophiles وهي التي لا تستطيع النمو عند درجة حرارة أقل من 45°C . هذا وقد قدرت الدرجة الدنيا لهذه البكتيريا ما بين $40-45^{\circ}\text{C}$ بينما وجدت درجة الحرارة المتلى ما بين $50-75^{\circ}\text{C}$ أما الدرجة القصوى فقد قدرت ما بين $60-80^{\circ}\text{C}$.

تأثير درجة الحرارة المرتفعة على النمو الميكروبي

Effect of high temperature on microbial growth

إذا ارتفعت درجة الحرارة عن الدرجة القصوى للميكروب فإنه يحدث إتلاف Denaturation للبروتين الإنزيمي والبروتين الخلوي مما يؤدي إلى موت الخلية البكتيرية . وقد وجد أن معدل الموت يزداد لو غار يتمياً بارتفاع درجة الحرارة . والحرارة للرطوبة أشد تأثيراً على الخلايا البكتيرية

من الحرارة الجافة حيث أن الرطوبة تساعد على نفاذية الحرارة وبالتالي إلى سرعة إتلاف البروتينات وتجميعها Coagulation .

ونظراً لأن الخلايا الخضرية تهاك بتعريضها لدرجة ٨٠°م لمدة دقائق قد تصل إلى ١٥ دقيقة أو ٦٠°م لمدة نصف ساعة ، فإن هذه الخاصية تستخدم في تحضير اللقاح Vaccine حيث تعرض البكتيريا لدرجة ٦٠°م لمدة ٣٠-٦٠ دقيقة حيث تقتل الخلايا البكتيرية أو بتعريضها إلى ٤٥°م لمدة ٣٠ دقيقة حيث تضعف الخلايا البكتيرية ولا تقتل دون الإضرار بمركبات الخلية اللازمة لإحداث المناعة .

المقاومة الحرارية Heat resistance

تعتبر الجراثيم البكتيرية أكثر مقاومة للحرارة من الخلايا الخضرية، فبينما يمكن قتل الخلايا الخضرية لنوع من البكتيريا على درجة حرارة أقل من ١٠٠°م ، فإن معلق الجراثيم يقاوم هذه الدرجة لمدة ١٦ ساعة ولذا فإنه لا يكفي بالغليان لقتل الجراثيم بل يلزم إستعمال درجة أعلى من ١٠٠°م بإستعمال أجهزة التعقيم المختلفة وتعود مقاومة الجراثيم البكتيرية لفعل الحرارة العالية إلى أن الماء الموجود بالجراثيم يكون على حالة مرتبطة وليس ماءً حراً (aw) .

درجة الحرارة القاتلة Thermal death point

إذا ارتفعت درجة الحرارة عن الدرجة القصوى فأنتنا نصل إلى درجة الحرارة القاتلة وتعرف بأنها أقل درجة حرارة يقتل عندها الميكروب إذا عرض لها ١٠ دقائق ، على أن يكون الميكروب نامى فى مزرعة عمرها ٢٤ ساعة .

الوقت المميت Death time

وهو الوقت بالدقيقة اللازم لقتل الميكروبات الموجودة فى حجم معين عند درجة حرارة معينة .

ومعرفة درجات الحرارة القاتلة والوقت المميت للميكروب له أهمية تطبيقية في معاملة الأغذية المعلبة Canned foods حرارياً بقصد حفظها من الفساد الميكروبي الذي قد يحدث أثناء فترة الحفظ .

وقد خلصت النتائج الخاصة بتأثير الحرارة على معدل النمو البكتيري إلى أنه من الضروري الإشارة إلى تأثير الحرارة على معدل التفاعلات الكيميائية . فإن معدل معظم التفاعلات الكيميائية يتضاعف تقريباً عند زيادة درجة الحرارة ١٠ درجات مئوية . وبذلك فإن معدل التفاعلات الأيضية الخلوية يزداد بازدياد درجة الحرارة وذلك لحد محدود حيث أنه بزيادة الحرارة فوق الدرجة المثلى يبدأ حدوث تغير في طبيعة Denaturation للبروتين الخلوي نتيجة الحرارة المرتفعة ، ويصاحب ذلك تدهور في التفاعلات الإنزيمية وبالتالي في معدل النمو . ويلاحظ النمو سيتوقف تماماً عندما يتحطم تماماً معظم البروتين الضروري للآزم لحياة الخلية نتيجة لتأثره بالحرارة .

وفي ضوء ما سبق فإن البكتيريا المحبة للحرارة المرتفعة لا بد وأنها تمتلك بروتين خلوي له درجة عالية من حيث تحمله لدرجات الحرارة المرتفعة . وقد ثبت ذلك بالدراسات المقارنة لبعض الإنزيمات المعزولة من بكتيريا محبة للحرارة المرتفعة والمحبة للحرارة المتوسطة وفي كل حالة فحصت كان الإنزيم المعزول من بكتيريا محبة للحرارة المرتفعة أكثر مقاومة نتيجة لتغير طبيعته Denaturation بالحرارة المرتفعة عن نفس الإنزيم المعزول من بكتيريا محبة للحرارة المتوسطة .

٢- الرطوبة Moisture

لما كانت البكتيريا تتغذى بالإنشطار الغشائي لذلك فإن الماء يكون ضرورياً لحياتها لينيب المواد الغذائية اللازمة للخلية ويحمل المواد الناتجة عن التمثيل الغذائي خارج الخلية وكذلك يعمل الماء على المحافظة على رطوبة البروتوبلازم الخلوي . ويلاحظ أن كمية الرطوبة الحرة Available moisture

الموجودة بالبيئة النامي بها الميكروب هي التي تحدد نموه ومدى نشاطه وليست كمية الرطوبة الكلية التي تحتويها البيئة . وقد يكون محتوى البيئة من الرطوبة عالى ولكنها توجد فى صورة غير حرة كان تكون مرتبطة بالبروتينات والمواد الغروية لو يكون الضغط الاسموزى مرتفع فى البيئة وحينئذ لا يستطيع الميكروب الاستفادة من هذه الرطوبة ومن ثم يقف نموه نتيجة وقف النشاط البيوكيميائى للخلية .

ويمكن التعبير عن الرطوبة الحرة بإستعمال تعبير النشاط المائى Water activity (aw) وهو عبارة عن النسبة ما بين الضغط البخارى لمحللول (بيئة للبكتيريا) وبين الضغط البخارى للمذيب (الماء) . وبذلك فإنه يمكن إعتبار أن درجة النشاط المائى هو المقياس الذى يعبر عن كمية الماء الحر الموجودة بالبيئة لو المادة الغذائية . وبالنسبة للماء النقى فإن (aw) = ١ . والحد الأدنى من النشاط المائى (aw) اللازم لنمو الكائنات الدقيقة يحدده عوامل عديدة متعلقة بالظروف البيئية النامي فيها الميكروب ونوع الميكروب النامي وعموماً فقد وجد أن الحد الأدنى من (aw) اللازم لنمو البكتيريا العادية هو ٠,٩١ بينما الحد الأدنى من (aw) اللازم لنمو الخميرة هو ٠,٨٨ أما الحد الأدنى من (aw) اللازم لنمو الفطريات هو ٠,٨١ . ومن هذه القيم يتضح أن البكتيريا تحتاج إلى رطوبة حرة أكثر من الخميرة وتحتاج الخميرة إلى رطوبة حرة أكثر من الفطر . وبصفة عامة فإنه يمكن إعتبار أنه إذا قل (aw) عن ٠,٧٠ فإن معظم الكائنات الحية الدقيقة تقف عن النمو . وإذا قل مستوى الرطوبة عن ١٠-١٥٪ فى أى وسط فإن نمو الكائنات الحية الدقيقة يحد إلى درجة كبيرة .

٣- الضغط الاسموزى Osmotic pressure

يؤثر الضغط الاسموزى تأثيراً مباشراً على سرعة وإتجاه تيار الماء من البيئة إلى خلية الميكروب وبالعكس وبذا يؤثر على مقدار إستفادته من

الرطوبة . وعموما فإن تحرك المحاليل إلى خارج الخلية ودخول الماء إليها يبدو محكوما بالغشاء السيتوبلازمي والجدار الخلوي للخلية . ويلاحظ أن درجة تأثير البكتيريا بالضغط الإسموزي أقل من درجة تأثير الخلايا النباتية والحيوانية تلك لأن البكتيريا تحوى على جدار صلب جداً فلا يظهر عليها تغير واضح فى الحجم عند حدوث بلزمة أو إنتفاخ .

وتحتاج معظم الخلايا البكتيرية لثناء نموها إلى بيئات سوية الضغط الإسموزي Isotonic حيث أن المحاليل عالية الإسموزية Hypertonic (NaCl ٪٣٠) تسبب بلزمة الخلية Plasmolysis والمحاليل منخفضة الإسموزية Hypotonic (NaCl ٪٠,١) تسبب إنتفاخها Plasmolysis وكلاهما يؤدي إلى وقف نمو الخلية وقد يسبب موتها . وتختلف البكتيريا فى درجة تحملها للتركيزات الزائدة من الملاح المختلفة ، والتركيز المعوق للنمو يختلف باختلاف نوع الملح المستعمل وبإختلاف الميكروب تحت الدراسة وقد وجد أن بعض البكتيريا يتحمل تركيز ٪٢٥ ملح كما أن البكتيريا المحبة للملوحة Halophilic bacteria تنمو على الجلود المملحة ويمكن عزلها من الأسماك المملحة ومن غيرها من المواد ذات التركيز المرتفع من ملح الطعام مثل المخللات (١٥-٢٠٪) وماء المحيطات حيث تصل درجة الملوحة ٤ ٪ . وتستطيع بعض أنواع الخمائر والفطريات أن تنمو فى محاليل بها نسبة عالية من السكر كالعسل الأبيض والمربى وقد تسبب فسادها تحت ظروف معينة وتسمى هذه الميكروبات محبة للضغط الإسموزي المرتفع Osmophilic bacteria حيث أنها تفضل النمو فى الوسط العالى الإسموزية عن التركيزات العادية ويلاحظ أن الكائنات التى تتحمل الضغط الإسموزي المرتفع تستطيع أن تنمو فى بيئة ذات نشاط مائى قليل . هذا ولقد وجد أن الحد الأدنى من (a_w) اللازم لنمو البكتيريا المحبة للملوحة Halophilic bacteria

هو ٠,٧٥ وأن الحد الأدنى من (a_w) اللازم لنمو الخمائر المحبة للضغط الإسموزي Osmophilic yeast هو ٠,٦ والحد الأدنى من (a_w) اللازم لنمو الفطريات المحبة للجفاف هو ٠,٦٥ والمجموعات الثلاثة السابقة من الكائنات الحية الدقيقة تتحمل الضغط الإسموزي المرتفع .

ونظراً لأن كثير من الميكروبات يثبط نموها عند تركيز ملح يصل ١٠-١٥٪ وتركيز سكر يصل إلى ٥٠-٧٠٪ لذلك تستخدم خاصية الضغط الإسموزي في حفظ الأغذية بإستعمال محاليل ذات ضغط إسموزي مرتفع تعيق نمو الخمائر والبكتيريا والفطريات عن النمو مثل إضافة السكر إلى المرببات والجلى والألبان المكثفة وغيرها ومثل إضافة الملح إلى اللحوم والأسماك المملحة والمخللات وغيرها من الأغذية حيث يسبب تجفيف الخلايا نتيجة البلزمة مما يوقف نموها وقد لا تتحطم الخلايا .

٤- الجفاف Desiccation

تختلف مقاومة الخلايا الخضرية للبكتيريا للجفاف فمثلاً الميكروب المسبب للسل Mycobacterium tuberculosis يعتبر من الميكروبات شديدة المقاومة للجفاف وقد وجد أنه يتحمل الجفاف لمدة ٩٠ يوماً بينما الميكروب المسبب لمرض الكوليرا Vibrio cholera يكون شديد الحساسية للجفاف حيث يتحمل الجفاف لمدة يومين فقط . وقد وجد أن البكتيريا ذات العلية أكثر مقاومة للجفاف عن مثيلاتها اللاتي ليس لهن علية ذلك نظراً لإحتفاظ الكبسولة المتكونة من السكريات العديدة بكمية من الماء مما يجعل الخلية تحتفظ برطوبتها . كما أن الجراثيم البكتيرية تكون شديدة المقاومة للجفاف ذلك نظراً لتركيبها متعدد الأغلفة وإنخفاض مستوى الرطوبة في بروتوبلازم الجرثومة . فجراثيم الميكروب المسبب للحمى الفحمية B. anthracis يمكن أن تثبت بعد حفظها على حالة جافة لمدة عشرة سنوات أو أكثر .

ولو أن بعض البكتيريا الخضرية وأغلب الميكروبات المتجرّثة تحتفظ بحيويتها في حالة الجفاف لمدة طويلة إلا أن نموها ونشاطها الفسيولوجي والبيوكيميائي يكون متوقفاً في هذه الحالة نظراً لعدم وجود الرطوبة الكافية التي تمكن الميكروب من الحصول على غذائه والقيام بنشاطه الحيوي . ويستعمل التجفيف في حفظ كثير من الأغذية كما في حالة الفواكه واللبن وبعض الأغذية الأخرى حيث تحفظ من الفساد لمدة طويلة .

٥- الاحتياجات الأكسجينية Oxygen requirements

يعتبر الأكسجين من أهم الغازات المكونة للهواء الجوي والتي لها تأثير كبير على نمو الكائنات الحية الدقيقة ونشاطها . والبكتيريا قد تحتاج إلى أكسجين الهواء الجوي لمواصلة حياتها وعلى هذا الأساس تقسم البكتيريا تبعاً لحاجتها إلى الأكسجين إلى أربعة أقسام :

أ- بكتيريا هوائية إجبارية Strict aerobes

وهذه يلزم لنموها وتكاثرها توفر الأكسجين الجوي O_2 في الوسط الذي تنمو فيه وإلا توقفت عن النمو وهي تستخدم الأكسجين للحصول على الطاقة ويعمل كعامل أكسدة نهائي Terminal oxidizing factor ولاكسدة المادة العضوية والغير عضوية للحصول على الطاقة ومن أمثلتها بعض الأنواع التابعة لأجناس *Mycobacterium* ، *Bacillus* ، *Pseudomonas* وكذلك بكتيريا التازت والأزوتوباكتري . وقد يرجع إحتياج ميكروب هذا القسم للأكسجين إلى أنها لا تحتوي على إنزيمات التنفس اللاهوائي أو أن نواتج التنفس اللاهوائي تعتبر سامة لها .

ب- بكتيريا لا هوائية إجبارية Strict anaerobes

وهذه تنمو فقط في غياب الأكسجين حيث أن وجوده يسبب وقف نشاطها وهذه المجموعة تحصل على الطاقة اللازمة لها بتحويل المواد ذات

للطاقة العالية إلى مواد ذات طاقة أقل أو باستخدام مواد محتوية على الأكسجين وذلك لأكسدة المواد العضوية . ومن أمثلتها الميكروبات التابعة لجنس *Clostridium* وقد فسر الأثر الضار للأكسجين على نمو الميكروبات اللاهوائية إجباراً في أنها تحتوي على إنزيمات يجب أن تكون في حالة مختزلة حتى تكون فعالة وبذلك يكون التنشيط بسبب التأثير على الإنزيمات كما أن هذه الميكروبات لا تحتوي على إنزيم الكاتاليز الذي يحلل فوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2 إلى ماء وأكسجين ولكنها في نفس الوقت تحتوي على الإنزيمات القادرة على توليد فوق أكسيد الأيدروجين من الأكسجين الجزيئي. لذلك وجد أن موت هذه الكائنات بسبب الأكسجين يكون بسبب تراكم فوق أكسيد الأيدروجين بعد تكوينه في خلاياها والذي يعتبر مادة سامة .

ج- بكتيريا لا هوائية اختياريًا *Facultative anaerobes*

وهذه المجموعة من البكتيريا تستطيع النمو في وجود أو في غياب الأكسجين للجوى ومن أمثلتها بكتيريا القولون *coliform bacteria* مثل *E. coli* وكثير من أجناس الخمائر . وتتميز هذه الميكروبات بقدرتها على استعمال الأكسجين كعامل مؤكسد نهائى عندما يكون متاحاً ولكنها تستطيع أيضاً أن تحصل على الطاقة في غيابه عن طريق تفاعلات التخمر .

د- بكتيريا محبة للهواء بكمية قليلة *Microaerophiles*

وهذه تنمو في وجود كمية ضئيلة من الأكسجين في الوسط الذي توجد به أي أنها تحتاج تركيز أقل من تركيز وجوده في الهواء الجوى أي أقل من ٠,٢ ومن أمثلتها بعض الأنواع التابعة لجنس *Lactobacillus*

٦- تركيز أيون الأيدروجين pH

يؤثر تركيز أيون الأيدروجين بالبيئة على نمو ونشاط البكتيريا فالبيئات الشديدة الحموضة أو شديدة القلوية توقف نمو الخلايا البكتيرية وقد

تحدث تأثيراً ساماً للخلايا البكتيرية نتيجة تجميع وتخثر البروتين الإنزيمى بالخلية coagulation . ولكل نوع من البكتيريا درجة pH ولكن معظم الخلايا البكتيرية تفضل النمو فى وسط يقترب من التعادل (pH من ٦-٨) وهناك بعض الأنواع التى تفضل النمو فى وسط حامضى مثل بكتيريا حامض اللاكتيك *Lactobacillus lactis* وبكتيريا حمض الخليك *Acetobacter aceti* وهناك أنواع تتحمل الحموضة العالية Aciduric مثل بكتيريا أكسدة الكبريت *Thiobacillus thiooxidans* التى تستطيع تحمل حموضة تصل إلى (pH = ٢) وهناك بعض الأنواع التى تفضل النمو فى وسط قلوى (pH = ٨,٥) مثل بكتيريا اليوريا *Sporosarcina urea*

ومعظم أنواع الخميرة تنمو جيداً فى وسط حامضى يصل إلى pH من ٣-٥ أما الفطر فإنه يتحمل حموضة عالية ذات pH منخفض يصل إلى ١,٦ وإن كان له القدرة على النمو فى نطاق متسع من درجات الحموضة ولكل نوع من أنواع الميكروبات ثلاث درجات حموضة :

أ- درجة الحموضة الدنيا Minimum pH value : وهى أقل درجة حموضة يحدث عندها نمو للميكروب تحت الدراسة .

ب- درجة الحموضة المثلى Optimum pH value : وهى أنسب درجة حموضة يستطيع أن ينمو عندها الميكروب .

ج- درجة الحموضة القصوى Maximum pH value : وهى أعلى درجة حموضة يحدث عندها نمو للميكروب .

وعند تنمية ميكروب مخمر للسكريات فى بيئة غذائية فإنه ينتج أحماضاً تتراكم فى البيئة التى من شأنها الحد من نمو الميكروب ونشاطه وعليه يجب معادلة هذه الأحماض وذلك بإضافة مواد معادلة للحموضة فى البيئة مثل كربونات الكالسيوم أو الماغنسيوم . . . يكون إنماء ميكروب

محال للبروتينات في بيئة غذائية غالباً ما ينتج نواتج التمثيل الغذائي والتي من شأنها أن ترفع قيمة الـ pH وفي هذه الحالة تضاف فوسفات البوتاسيوم بغرض تنظيم قيمة الـ pH .

٧- الأشعة Radiation

يعرف الإشعاع بأنه انبعاث Emission خلال الفضاء أو خلال وسط مادي ولقد دلت نتائج الأبحاث أن نفاذ الأشعة داخل الخلية الحية يتناسب عكسياً مع طول الموجة حيث أنه كلما قصر طول الموجة كلما أصبحت أكثر نفاذية وأشد قتلًا وتأثيراً على خلية البكتيريا . فالأشعة الحرارية Heating radiation كالأشعة تحت الحمراء Infrared لها طول موجي $12000^{\circ}A - 50000^{\circ}A$ ونبذبة منخفضة ولها طاقة غير قادرة على إحداث تفاعل كيميائي ولذا فإنها تتحول سريعاً إلى حرارة وتأثيرها المباشر يكون على البكتيريا ضعيف وهذا يفسر إستعمال لمبات الأشعة تحت الحمراء كمصدر للحرارة .

أما الأشعة التي طول موجتها قصير يتراوح من $128^{\circ}A$ إلى $3900^{\circ}A$ هي الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet radiation وهي أشعة غير مؤينة Non-ionizing radiation فإنها ذات موجات أقصر ونبذبة أعلى وبذلك فهي تحتوى على طاقة تكفى لإحداث تفاعل كيميائي . ولقد وجد أن الموجات ذات طول موجي حوالى 2650 أنجستروم يكون أكثر تأثيراً على البكتيريا . ويلاحظ أن ضوء الشمس يتكون جزئياً من أشعة فوق بنفسجية ولكن معظم الجزء الضار يمتص بواسطة الغلاف الجوى المحيط بالأرض والمكون من طبقة الأوزون ozone والسحب والغيوم . وبذلك فالذى يصل لسطح الأرض يكون مركز في أطوال بين 2780-3900 أنجستروم . وبذلك فإن ضوء الشمس الذى يصل لسطح الأرض يكون له تأثير مبيد قليل جداً على الكائنات الحية الدقيقة .

وتوجد مصابيح تعطى إشعاعات فوق بنفسجية (2600-2700 أنجستروم) تستعمل فى التعقيم أو لتقليل التعداد الميكروبي فى غرف العلميات وفى مصانع الأدوية وصناعات الألبان والمواد الغذائية وكذلك معاملة الأسطح الملوثة . ويلاحظ أن الإشعاعات فوق البنفسجية لها قابلية قليلة فى إختراق المواد وأن طبقة رقيقة من الزجاج تكون كافية لإزالة كمية كبيرة منها . ولقد تمخضت نتائج الدراسات التى قامت لدراسة الطريقة التى تؤثر بها Mode of action الأشعة فوق البنفسجية على الخلايا وثبت أن الأشعة فوق البنفسجية تسبب تكوين روابط تعاونية Covalent bonds بين جزيئين متجاورين من Thymine على نفس شريط الـ DNA وبذلك تتكون روابط داخل الشريط الواحد مما يؤدى إلى تكوين Thymine thymine dimer وأن هذه الرابطة التعاونية تشوه شريط الـ DNA بدرجة تؤدى إلى إختلاف خواص الروابط الهيدروجينية للبيورينات والبريميدينات بجوار هذا الـ Dimer ونتيجة لذلك فإنه قد تدخل بيورينات وبريميدينات خاطئة فى شريط DNA الجديد الذى سيتكون على إمتداد الشريط المتغير .

أما الأشعة المؤينة Ionization radiation فهى الأشعة ذات الموجة الأقل من 200 \AA ومنها أشعة إكس X-rays ($1-100 \text{ \AA}$) وهى ذات تأثير مميت على الكائنات الدقيقة ، ولها القدرة على التغلغل ولو أنها غير عملية لإستعمالها مقاومة مجاميع الميكروبات ذلك لأنها عالية التكاليف ، ولكنها تستعمل بكثرة فى مجال الميكروبيولوجى وذلك لإنتاج طفرات ميكروبية Microbila mutations . وأشعة جاما Gamma rays ($0.01-0.1 \text{ \AA}$) وهى إشعاعات ذات طاقة عالية تتبعث من بعض النظائر المشعة Radioactive isotopes مثل الكوبلت 60 . وهى تشبه أشعة أكس ولكن لها طول موجات أقصر ولذلك يمكن إستعمالها فى تعقيم المواد مثل الأغذية .

ويبدون أن الطريقة التي تؤثر بها Mode of action على الخلايا أنها تحدث Direct hit على بعض المواد داخل أو بالقرب من الخلايا محدثة تآين Ionization والذي يسبب موت الخلايا . وأشعة كوزميك (10^{-10} - 10^{-11} A°) فهي ذات موجات قصيرة ونبضاتها عالية جداً والطاقة المنبعثة منها عالية لدرجة أن الجزيئات التي تتعرض لها تتآين ولذا سميت بالأشعة المؤينة . وعندما تموت الخلايا البكتيرية بتأثير هذا الأشعة فإن ذلك يحدث بدون رفع درجة الحرارة ولذا فإن التعقيم في هذه الحالة يسمى التعقيم البارد Cold sterilization ويمكن استعمال الإشعاع في تعقيم المواد الحساسة للحرارة المرتفعة مثل بعض المواد الغذائية والأدوية . ويحدث التأثير الضار للأشعة عندما تمتص بواسطة الخلايا البكتيرية وإمتصاص الطاقة الإشعاعية بواسطة الخلايا ينتج عنه إما تأثير مميت طبقاً لنظام لو غارتمى أو حدوث طفرات Mutations نتيجة تغيير في التركيب الوارثي في الخلايا التي قد تتجو من التأثير المميت . ويرجع التأثير القاتل للأشعة على البكتيريا إلى أن الطاقة الإشعاعية الممتصة تحدث تغيير في التركيب الجزيئي لمكونات الخلية خاصة في مناطق الخلية الحساسة كالإنزيمات والمحتويات النووية ويسمى هذا التأثير بالتأثير المباشر وقد يرجع التأثير إلى إحداث تفاعلات كيميائية تكون نواتج تسبب إفساد جزيئات السيتوبلازم والأجسام النووية بالخلية ويسمى هذا بالتأثير غير المباشر .

يوجد في الطبيعة مجموعة من البكتيريا تتطلب وجود الضوء الشمسي لكي تنمو وتتكاثر . وهي البكتيريا الممثلة للضوء مثل البكتيريا الخضراء والحمراء . وتتميز هذه المجموعة من البكتيريا بوجود مواد ملونة تشبه الكلوروفيل النباتي تمكنها من إمتصاص ضوء الشمس وبذا تحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية عن طريق التمثيل الضوئي . وعكس ذلك نجد أن

أغلب أنواع البكتيريا لا تحتوى على مثل هذه المواد الملونة وبالتالي فإنه ليس لها القدرة على إستخدام الضوء الشمسى كمصدر للطاقة وبذلك فإن الأشعة المرئية وغير المرئية تكون عديمة الفائدة لها أو يكون لها تأثير ضار .

ليست الأشعة المؤينة فى الطبيعة بذات أهمية لأن أغلبها يمتص فى طبقات الجو العليا ولا يصل إلينا . والأشعة التى تصل إلينا تقع فى منطقة فوق البنفسجية الأشعة فوق البنفسجية والأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء والتأثير القاتل لضوء الشمس على البكتيريا يرجع إلى إحتوائه على الأشعة فوق البنفسجية ذات الطول الموجى الأقل من ٣٠٠٠ غير أن أشد موجاتها قتلا هو ذات الطول ٢٥٣٧ ، حيث أنه الطول الموجى الذى يتم إمتصاصه بواسطة الـ DNA ومن ثم يؤدى إلى تلفه ويحتوى ضوء الشمس على كمية قاتلة من هذه الأشعة المهلكة للميكروبات على سطح الأرض .

وجراثيم الخلايا البكتيرية والفطر تتأثر أيضاً بالأشعة فوق البنفسجية، لكنها تكون أكثر مقاومة من الخلايا الخضرية . ولقد وجد أن الجراثيم يلزم لقتلها على الأقل ضعف الجرعة من الأشعة التى تقتل الخلايا الخضرية كما أن البكتيريا الموجبة لجرام تكون أكثر مقاومة من تلك السالبة لجرام وربما يرجع ذلك للإختلاف فى تركيب الجدار الخلوى بينهما . ويستفاد عملياً من التأثير القاتل للأشعة فوق البنفسجية على الكائنات الحية الدقيقة فى تعقيم الأماكن كالمستشفيات كما تستعمل أيضاً فى التعقيم الجزئى لبعض الأطعمة كاللحوم والفطائر وفى تعقيم سطوح أدوات مصانع الألبان كالزجاجات والصفائح والأوعية وذلك باستخدام لمبات خاصة لإنتاج مثل هذه الأشعة مثل لمبات بخار الزئبق المصنوعة من الكوارتز أو باستخدام القوس الكهربى .

وتوجد ظاهرة تسمى بظاهرة التنشيط الضوئى Photoreactivation فإذا عرض معلق من خلايا بكتيرية إلى جرعة ضارة من إشعاع فوق بنفسجى

ثم عرض بعد ذلك مباشرة إلى الضوء المرئي فإن بعض الخلايا المثبطة ستشفى وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة التنشيط الضوئي ، وتفسر هذه الظاهرة بأنه توجد إنزيمات معينة في بعض أنواع البكتيريا تقوم بإصلاح الضرر الذي تحدثه الأشعة فوق البنفسجية فيوجد إنزيم قادر - في وجود الضوء - على تكسير الرابطة التعاونية التي تربط بين قاعدتي الثيمين وتسمى بالإصلاح الضوئي Light repair . بعض البكتيريا تمتلك إنزيمات تقطع لو تستاصل الجزء من شريط الـ DNA المفرد الذي حدث له ضرر ، وإنزيمات أخرى تصلح القطع الناتجة عن طريق تخليق جزء من شريط مكمل للشريط غير المتأثر بالضرر. وحيث أن هذه الإنزيمات لا تحتاج إلى الضوء لتؤدي عملها فتوصف هذه العملية باسم الإصلاح في الظلام Dark repair .

ثانياً : العوامل الكيميائية Chemical factors

لقد سبق أن بينا أن التأثير الفعال للعوامل الطبيعية قد يرجع أساساً إلى أصل كيميائي كما حدث في تأثير الإشعاع . وتختلف المواد الكيميائية كثيراً في نوع ومدى تأثيرها على الميكروبات فبعضها يكون موقف لنمو الميكروبات دون قتلها وبعضها قاتل للميكروبات عموماً . وبعضها تقتل البعض دون البعض الآخر والإختلاف في نوع ومدى التأثير يرجع لنوع المادة الكيميائية المستخدمة ونوع الميكروب . فالميكروبات تختلف كثيراً في حساسيتها للمواد الكيميائية المستخدمة وعموماً فإن الأنواع المتجرئة تكون أكثر مقاومة لأثر المواد الكيميائية عن الأنواع التي لا تكون جراثيماً كما يختلف التأثير حسب عمر المزرعة فالميكروبات في طور الهبوط تكون أسرع تأثراً بالمواد الكيميائية عن تلك الميكروبات التي تكون في الطور الثابت . كما يختلف التأثير حسب نوع الوسط والغرض الذي يستخدم من أجله المواد الكيميائية فبعض المواد الكيميائية يقل تأثيرها القاتل للميكروبات

فى وجود مواد عضوية فى الوسط . كما أن فى حالة إستخدام المواد الكيماوية لمقاومة ميكروب فى جسم الإنسان أو الحيوان .

وكما سبق أيضاً أن ذكرنا أن أى مزرعة ميكروبية لا تستمر فى نموها إلى ما لا نهاية وذلك أسباب عديدة منها تراكم المواد الكيماوية الناتجة عن النشاط الأيضى للخلية . ولاشك أن ما يشاهد فى المزارع المنماه فى المعمل قد يحدث أيضاً فى البيئات الطبيعية التى تعيش فيها البكتيريا معيشة مختلطة مع بعضها ، فقد يحدث أن تستهلك بعض الكائنات النامية فى المخلوط النواتج النهائية لنمو كائنات أخرى ، وهى بذلك تقلل من تراكمها وتعطى فرصة أكبر لإستمرار النمو وعدم توقفه أو على العكس قد تعجل بعض الكائنات بإيقاف نمو البعض الآخر نتيجة لإفرازها مواد سامة لغيرها من الكائنات . من ذلك نرى أن النمو المختلط فى الطبيعة يعمل على إحداث توازن للمجموع المختلط لتنظيم سيادة مجموعة معينة من الكائنات فى البيئة المختلطة أو إخفاء نوع آخر منها العلاقة البيولوجية مثل تطفل Parasitism وتآزر Commensalism ونفعة من جانب واحد أو تنشيط من جانب واحد أو من الجانبين Synergism وتكافل Symbiosis وتضاد Antagonism.

وإنه لمن الضرورى إختيار المادة الكيماوية ونسبتها على أساس أن لا يكون لها أثر سيئ على الإنسان أو الحيوان . حيث يوجد ما يسمى بظاهرة التضاد الكيماوى Chemical antagonism وهى الظاهرة الأكثر أهمية فى هذا الموضوع . والمواد الكيماوية المؤثرة على نمو البكتيريا عديدة منها ذات الأصل البيولوجى وتعرف بالمضادات الحيوية ومنها غير بيولوجى وجميعها تؤثر تأثيراً ضاراً على البكتيريا ، إما عن طريق إيقافها لنمو البكتيريا أو تأثيرها المميت . وهناك عدد قليل من هذه المواد الكيماوية ما يمكننا إستعماله فى علاج الأمراض التى تصيب الإنسان والحيوان عند

وصولها داخل الجسم وتعرف هذه المواد باسم Therapeutants وذلك لتأثيرها على خلايا البكتيريا وقلة تأثيرها على الخلايا الحيوانية . أما المواد التي تؤثر على كل من الخلايا البكتيرية والخلايا الحيوانية فلا يمكن إستعمالها داخليا بل يمكن الإكتفاء باستعمالها السطحي فقط ، وتعرف بالمطهرات Antiseptics . لهذه الأسباب مجتمعة لا يمكن إيجاد مبيد كيميائي واحد يستخدم لجميع الأغراض Universal disinfectant وعموماً فإنه يمكن تقسيم المواد الكيميائية من حيث أثرها على الميكروبات إلى Microbicide وهي مواد قاتلة للميكروبات ، Microbistatic وهي مواد موقفة للنمو ، Antiseptic وهي المواد المطهرة التي توقف نمو بعض أنواع الميكروبات وتقتل البعض الآخر . ويجب أن نشير إلى أنه ليس هناك حد فاصل في كثير من الأحوال بين هذه التأثيرات الثلاثة للمواد الكيميائية . فالماد الكيميائية الواحدة قد يكون لها في تركيز معين تأثير موقف للنمو وفي تركيز آخر تأثير قاتل للميكروبات ويعتمد هذا على تركيز المادة ، نوع الميكروب تحت الدراسة وتركيز الميكروب علاوة على فترة تعرض الميكروب للمادة . هذا بجانب تأثير البيئة وتركيبها ودرجة حرارة التحضين ووجود مادة عضوية من عدمه . وسنناقش فيما يلي أهم المجاميع الكيميائية ذات التأثير على الميكروبات . ومن أمثلة هذه المجاميع التي تستعمل خارجياً في التطهير أو الإبادة أو العلاج ما يلي :

١ - الأحماض Acids

يرجع التأثير القاتل للأحماض المعدنية إلى إنفراد أيون H^+ عند تأينها في المحاليل المائية وتتناسب قوة الأحماض القاتلة تناسباً طردياً مع درجة تركيز أيون الأيدروجين حيث أن كمية قليلة منه تعتبر مطهرة بينما الكميات الكبيرة فإنها تعتبر قاتلة . وعند مقارنة كميات متساوية من OH^- ،

H^+ نجد أن أيون H^+ له حده سمية على الكائنات الحية الدقيقة أكبر وبالنسبة للأحماض المعدنية مثل HCl ، HNO_3 ، H_2SO_4 بالرغم من قدرتها القاتلة إلا أن استعمالها يكون محدوداً وذلك لتأثيرها الضار على الجلد والأنسجة والأدوات المعدنية وكذلك المنسوجات والأدوات والمواد المختلفة .

وبالنسبة للأحماض العضوية ، فإن تأثيرها القاتل يرجع جزئياً إلى أيونات الأيدروجين الحرة ولكن التأثير الأكبر يعود إلى الجزيئات غير المتأينة . ونظراً لأن التأثير الضار لهذه الأحماض على الجلد والأنسجة محدوداً فإنها تستعمل في التطهير على نطاق أوسع من السابقة . ويتخلف نشاط الأحماض باختلاف أنواعها فحمض البروبيونيك والخلليك يكونا أشد تأثيراً على الفطر بينما نجد أن حمض البنزويك والساليسيليك يكونا أشد تأثيراً على البكتيريا وربما يرجع ذلك لطبيعة تركيب الجدار الخلوي لكل من الفطر والبكتيريا . ويستعمل محلول مركز من حمض البوريك كمطهر للعين لقلّة ضرره على الجلد والغشاء المخاطي ، أما حمض اللاكتيك الذي ينتج أثناء التخمرات في صناعة المخللات والسيلاج ، والألبان المتخمرة والجبن فإنه يعتبر المادة الحافظة الأساسية في هذه المواد حيث يتميز بقوته المطهرة ضد كثير من البكتيريا خاصة المحللة للبروتين منها .

٢- القلويات Alkali

تتأين القلويات في المحاليل وينتج عن ذلك إنفراد مجموعة OH^- وهو أيون نشط . ويرجع تأثير هذه المواد إلى أيون OH^- الناتج من تأينها في المحلول ، وبذلك يصبح المحلول قلوي غير مناسب لنمو الميكروبات . والمحاليل شديدة القلوية تؤدي إلى تحلل الخلية البكتيرية أو قتلها . ومن الملاحظ أنه كلما كان القلوي أكثر تأيناً كلما كان أشد تأثيراً على الميكروبات فمثلاً KOH أكثر تأثيراً من NH_4OH حيث أن الأول يتأين بدرجة أكبر من

الثاني ويشذ عن ذلك $Ba(OH)_2$ فرغم أنه أقل تأيئاً من KOH إلا أنه أكثر فتكاً للميكروبات ، ويعود ذلك التأثير الإضافي المهلك لأيون الباريوم .

ويستعمل كثيراً NaOH كمادة منظفة في مصانع الأغذية والألبان وذلك في تطهير الأجزاء المطاطة من آلة الحليب الميكانيكية بنسبة ٠,٣-٠,٥ ٪ . كما يستعمل NaOH بنسبة ٥ ٪ في تطهير المخازن والإسطبلات وهناك بعض المواد الأخرى كالجير الحي CaO عالية القلوية عند إذابتها في الماء وتستخدم في تنظيف أدوات مصانع الألبان والأغذية .

الصابون Soap عبارة عن أملاح الصوديوم أو البوتاسيوم للأحماض الدهنية وهو يعتبر من المطهرات متوسطة القوة . ويعتمد تأثير الصابون على الإزالة الميكانيكية للكائنات الدقيقة من على السطوح التي تغسل به مثل الأيدي والملابس والأرضيات . كما أنه يقلل من التوتر السطحي للماء ويجعله أقدر على التغلغل في الأشياء المغسولة وبذا يستطيع الماء أن يبلل الأشياء بسهولة ويصبح أكثر قدرة على التنظيف . هذا علاوة على قدرة الصابون على إزالة الزيوت والمواد الملوثة الأخرى وإحداثه لتفاعل قلوي .

ويزداد أثر الصابون إذا استعمل مع الماء الساخن . وقد لوحظ أن إضافة بعض المواد المطهرة إليه تزيد من قدرته التطهيرية مثل إضافة مادة Hexa chlorophenol بنسبة ١ ٪ إلى الصابون . وقد أدت الرغبة إلى إنتاج أنواع محسنة من الصابون إلى إنتاج مواد تركيبية Synthetic detergents تقلل من التوتر السطحي ذات كفاءة تطهيرية عالية تستخدم في غسل الملابس والأدوات المنزلية وفي مستحضرات غسل الشعر .

٣- الصبغات Dyes

قد تستخدم الأصباغ إلى حد ما كمواد مطهرة . فمثلاً صبغات الأكردين Acridine dyes مثل Acriflavine تستخدم في تطهير الجروح

والأغشية المخاطية وصبغة الكريستال البنفسجي تستعمل كثيراً فى علاج الإصابات الجلدية الناتجة عن البكتيريا الموجبة لجرام وكذا الناتجة عن بعض الفطريات .

٤- الكحولات : R-OH

أشهرها كحول الإيثانول C_2H_5OH وله تأثير قاتلاً إذا استعمل بتركيز ٥٠-٧٠٪ حيث يؤدي إلى تجميع البروتين coagulation المكون لبروتوبلازم انخلية . وهذا التفاعل يتم فى وجود كل من الماء والكحول . وهذا يفسر بأنه باستعمال تركيزات أقل أو أعلى من النسب السابقة فإن القوة القاتلة للكحول تقل بالتدرج حتى تنعدم . والإيثانول شائع الإستعمال فى تطهير الجلد ، وقدرة الإيثانول المطهرة أعلى من الميثانول ، علاوة على أن الأخير يندر إستعماله كمهبط لأنه سام ومهيج للعين . أما الكحولات الأخرى مثل البروبانول والبيوتانول فإن الدراسات التى تمت عليها غير كافية ، وإن كانت تبين أن تأثيرها الإبادى أقوى من الإيثانول وهذا يعود إلى وزنها الجزيئى المرتفع . ومن المعروف أن للجسرين فعالية كبيرة كعامل مطهر إذا استعمل فى صورة مركزة ويعود ذلك إلى قدرته على إنتزاع الماء من الخلايا الميكروبية أى أن له تأثير تجفيفى Dehydrating effect

٥- الألدهيدات : R-CHO

أهمها الفورمالدهيد $HCHO$ وتأثيره القاتل يعود إلى قدرته الإختزالية وإتحاده مع المجاميع الأمينية الحرة ($-NH_2$) لبروتين الخلية فيتوقف نشاطها ورغم أن الفورمالدهيد من العوامل الفعالة فى الإبادة والتطهير إلا أن إستعماله محدوداً لما له من تأثير سام ورائحة نفاذة غير مقبولة . وتأثير الفورمالدهيد على الفطر أشد من تأثيره على البكتيريا ويرجع ذلك لإختلاف تركيب الجدار الخلوى لكل من الفطر والبكتيريا وتأثيره على الخلايا الخضرية أكبر من تأثيره

على الجراثيم ويرجع ذلك لتركيب الجرثومة التي تحتوى علاوة على عدة جدر خارجية تحول دون دخول المادة المطهرة علاوة على انخفاض نسبة الماء فى البروتوبلازم . ومطول الفورمالدهيد العادى يسمى فورمالين وهو عبارة عن مطول مائى يحتوى على ٣٢-٤٠٪ فورمالدهيد بالإضافة إلى قليل من الميتاتول . ومطول ٥-١٠٪ فورمالدهيد له قوة قاتلة حتى فى وجود مواد عضوية ومطول ٠,١-٠,٥٪ يوقف نمو الميكروبات ويستعمل الفورمالين أيضاً فى حفظ العينات والنماذج النباتية لمدة طويلة .

ومن الإستعمالات الهامة للفورمالدهيد تحويل التوكسين السام Toxin إلى توكسين غير سام Toxoid والأخير يستخدم بحقنه فى جسم الإنسان أو الحيوان ليكون مضادات التوكسين Antitoxin وهى أجسام مضادة تحمى الجسم من المرض - ومن الميكروبات المشهورة التى تقاوم بهذه الطريقة ميكروب *Corynebacterium diphtheria* المسبب للنفثريا وميكروب *Clostridium tetani* المسبب للتيانوس . بالإضافة إلى الفورمالدهيد فلن بعض المواد المختزلة الأخرى لها تأثير قاتل على البكتيريا مثل حامض الكبريتوز وملح الكبريتيت . وبحرق الكبريت ينتج غاز ثانى أكسيد الكبريت SO_2 الذى يستعمل فى تبخير النبيذ والفواكه المعدة للتجفيف Sulphuring للمحافظة على لونها علاوة على تأثيره القاتل على الميكروبات.

٦- العوامل المؤكسدة Oxidation factors

يعود التأثير القاتل لهذه المواد إلى عملية الأكسدة التى تحدثها حيث أنها تستطيع أن تنتج لكسجين حديث التولد والذى يستطيع أن يتحد بالمكونات العضوية للخلية فيوقف نشاطها . ومن أهم المواد المؤكسدة الأكثر إستعمالاً هى الآتى :

أ- الكلور ومركباته :

الكلور ومركباته من أكثر المواد إستعمالاً في قتل الميكروبات وعند إضافة الكلور إلى الماء يحدث التفاعل التالي :



وعلى ذلك يؤثر غاز الكلور على الميكروبات بطريقتين الأولى بالأكسدة بالأكسجين حديث التولد الذي يتكون عند تفاعل غاز الكلور مع الماء . والثاني بالتفاعل المباشر حيث يتفاعل الكلور مباشرة مع بروتين الخلية ويتحد معها بعملية تسمى عملية الكلورة Chlorination وبذلك يوقف نشاط الخلية . ويستعمل غاز الكلور المضغوط إلى سائل في تعقيم مياه الشرب حيث يضاف بكميات تتراوح ما بين ٠,٢٥ - ٢ جزء في المليون حسب التقرير المبدئي لحالة المياه من الناحية الميكروبيولوجية ويحتاج الأمر إلى زيادة التركيز في حالة وجود عدد كبير من الكائنات الدقيقة أو الممرضة أو وجود مواد عضوية حيث تتفاعل مع جزء من الكلور المضاف .

ويلاحظ أن تأثير الكلور ومركباته مثل الهيبوكلورينات والكلورامينات يقل كثيراً في حالة وجود المواد العضوية خاصة البروتينات حيث أن الكلور يتحد بها فيقل تأثيره . لذلك يشترط أن تنظف الأدوات قبل تطهيرها بالكلور ، كما يجب أن يكون الماء الذي يعامل بالكلور خالياً من الشوائب والمواد العضوية عند معاملة . وتستخدم الكثير من مركبات الكلور في تطهير أدوات وأجهزة معامل الأغذية والألبان وكذلك في تطهير المياه المستعملة لغسيل الخضراوات ويضاف للثلج المستعمل في حفظ الأسماك وفي الأغراض الطبية والبيطرية لإنخفاض الآثار الضارة للكلور على الأنسجة الحية إذا استعمل في تراكيزات تصل إلى ٢٠٠ جزء في المليون .

ب- اليود ومركبته

يؤدي اليود فعلة السام بإتحاده مع البروتين الإنزيمى فى الخلية ، إذ أنه عامل مؤكسد وبالرغم من أن لليود أثر سام إذا ابتلع ومهيجاً للأنسجة الحية الرقيقة إلا أنه يعتبر من أوسع المواد إنتشاراً كمطهر للجلد ويستعمل فى تطهير التسلخات وفى تطهير مواضع وأماكن العمليات الجراحية قبل إجرائها ، والفلوثات السطحية فى جسم الإنسان والحيوان . ويستخدم اليود عادة فى صورة صبغة يود بتركيز ٢٪ وهذه تحضر بإذابة ٢٠ جم يود فى ٥٠٠ سم^٣ ماء مذاب فيه ٥٠ جم من يوريد الصوديوم ثم يخفف الحجم إلى لتر بإضافة كحول ٩٥٪ واليود له تأثير قاتل على عدد كبير من البكتيريا إلا أن البكتيريا المتجرثة تكون مقاومة له .

ج- الفلور

تشد الهالوجينات فتكا بالميكروبات وتضيف بعض الدول الفلوريد إلى ماء الشرب بنسبة ١ جزء فى المليون لتقليل تسوس الأسنان كما يضاف فلوريد الصوديوم إلى بعض معاجين الأسنان للوقاية من التسوس .

٧- المعادن الثقيلة Heavy metals

تحتاج بعض للكائنات الحية الدقيقة إلى كميات ضئيلة جداً من المعادن الثقيلة لنموها لذلك فإن وجود هذه المادن فى المزارع البكتيرية بتركيزات منخفضة يكون له تأثير منشط . أما إذا زاد تركيزها عن حد معين فيكون لها تأثير مطهر وإذا زادت النسبة كان لها تأثير سام وقاتل ، والتأثير القاتل لأيونات المعادن الثقيلة راجع إلى تفاعلها مع بروتين الخلية وترسيبها له ، وعموماً فإنه بالنسبة لتأثير المعادن الثقيلة نجد أن لها تأثير سام على الكائنات الحية الدقيقة وأكثر المعادن تأثيراً هو الزئبق، الفضة ، النحاس ، وكلما كان تركيز المعدن أكبر كلما كان تأثيره السام أقوى بينما يكون

للتراكيزات المنخفضة تأثير أوليجوديناميكي Oligodynamic action على الكائنات الحية الدقيقة . كذلك أشارت الأبحاث بأن كاتيونات المعادن الثقيلة لها تأثير سام أقوى من تأثير كاتيونات المعادن الخفيفة فمثلاً $AgCl_2$ تأثيره يكون أقوى من $MgCl_2$. كذلك دلت نتائج الأبحاث أن وجود المادة العضوية مع وجود البروتينات في المحلول يقلل من التأثير السام لهذه المعادن نظراً لأنها غالباً ما تتحد مع البروتينات وبذا يقل تأثيرها على الميكروبات . وهناك بعض المركبات للمعادن الثقيلة يمكن إستعمالها كمطهرات أو معقمات ومن أمثلتها :

أ- الزئبق

ومن مركبات الزئبق غير العضوية ، نلاحظ أن محلول كلوريد الزئبقيك (١/١٠٠٠) ويسمى السليمانى يستعمل كثيراً فى تعقيم الأجزاء النباتية والدرنات وجذور البقوليات المحتوية على العقد الجذرية عند عزل بكتيريا العقد الجذرية منها حتى لا يحدث لها تلوث خارجى . ويجب عقب التعقيم الغسيل بماء معقم حتى لا يؤثر الزئبق على البكتيريا تحت الدراسة . ونظراً لأن كلوريد الزئبقيك سام للإنسان فإن إستعماله فى التطهير يكون محدوداً جداً ويعتبر أكسيد الزئبق الأصفر من مركبات الزئبق غير العضوية الذى يضاف إلى المراهم كمادة مطهرة . ولقد تم عمل مشتقات عضوية ذات سمية ضعيفة مع قدرتها الإبادية للميكروبات وذلك عن طريق خلط الزئبق بمركبات عضوية معقدة تتأين ببطء شديد جداً ومن أمثلة هذه المواد الميكروكروم Mercurochrome وهو يستعمل كمطهر للجلد والجروح بنسبة ٢٪ وهو أفضل هذه المركبات وإن كان أقل تأثيراً من اليود .

ب- الفضة

كذلك تستعمل أملاح الفضة بكثرة في التطهير ، ومن أمثلة مركبات الفضة المعدنية نترات الفضة التي تستعمل كقطرة للعيون بتركيز واحد في الألف وإن كان يعاب عليها ارتفاع ثمنها وتأثيرها المهيج للأنسجة . ومن مركبات الفضة العضوية التي تصنع على شكل غروي هي الأراجيرول ، البروتاجول هي عبارة عن بروتينات مرتبطة بالفضة والتي تمتاز بأن تأثيرها المهيج ضعيف ولذلك تستعمل بكثرة كمطهرات .

ج- النحاس

تستخدم كبريتات النحاس بكثرة لقتل الميكروبات خاصة الطحالب ولذلك تضاف إلى مياه الشرب في الخزانات والبحيرات بنسبة ١ جزء في المليون للتخلص من الطحالب ويراعى عند مقاومة الطحالب في البحيرة التي بها أسماك أن تستعمل كميات قليلة من كبريتات النحاس حتى لا تؤدي إلى قتل ما تحتويه البحيرة من أسماك وأحياء بحرية . كذلك يستعمل محلول بوردو وهو يحتوى على كبريتات النحاس لمقاومة الكثير من أمراض النبات الفطرية.

د- الزنك

تستعمل أملاح الزنك مثل أكسيد الزنك في تحضير المراهم وقطرات

العيون.

هـ- الزرنيخ

تستعمل مركبات الزرنيخ ضد الأمراض المتسببة عن البروتوزا ، السبيروكيّتا Spirochetes ، والتريپانوسوما Trypanosomes ، ويتميز المركب المحتوى على الزرنيخ والمسمى 606 Sulvarsan بفاعليته الشديدة للميكروب المسبب لمرض الزهري Tryponema pallidum .

٨- الفينول C_6H_5OH Phenol

ينتج الفينول من نواتج التقطير الإتلافى للخشب والقار والفحم . ويعتبر الفينول (حامض الكربونيك) المبيد الأساسى الذى تقارن به المبيدات الأخرى ، ويعود تأثيره القاتل إلى أنه يتفاعل مع بروتين الخلية . ويستخدم الفينول كمادة قاتلة للميكروبات فى محاليل مائية تركيزها يتراوح بين ٢-٥% وهو مركب ثابت له تأثير قوى على الخلايا البكتيرية الخضرية والفطر - غير أنه قليل التأثير بالنسبة للجراثيم الفطرية والبكتيرية والفيروسات ويضعف تأثيره فى وجود المواد العضوية حيث يتحد معها كيمائياً وذلك فى وجود المواد الدهنية .

ولقد كان الفينول شائع الإستعمال فى الماضى كمطهر ولكن بسبب إرتفاع ثمنه ورائحته النفاذة فضلاً عن أثاره السامة ، فإن استعماله أصبح محدوداً وإن كان ما زال شائع الإستعمال فى المستشفيات والعيادات الطبية وعناصر مصانع الأدوية ومن مشتقات الفينول ذات القوة القاتلة العالية الكريزول Cresol .

و الكريزول $CH_3-C_6H_4OH$ من مشتقات الفينول إلا أنه يتميز بشدة فعاليته وإن قوته الإبادية عالية وهو يؤثر على نفس الأنواع من الكائنات الحية الدقيقة التى يؤثر عليها الفينول . والكريزولات تتميز بانها تحتفظ بقوتها فى وجود المواد العضوية غير أنها مثل الفينول ضعيفة التأثير بالنسبة للجراثيم البكتيرية والفطرية والفيروسات . ويلاحظ أن الكريزول المستعمل هو عبارة عن أرثو وميتا وبارا كريزول ويطلق اسم الليزول Lysol على أحد مستحضرات الكريزول التجارية . ونظراً لأن الكريزولات تتميز بقلّة ذوبانها فى الماء فإنها تضاف إلى الصابون بالإضافة إلى كمية بسيطة من أحد القلويات التى تقوم بعملية التصبين .

٩- المواد العلاجية Chemotherapeutic drugs

من المجاميع الكيماوية التى تستعمل داخليا فى علاج الأمراض البكتيرية فى جسم العائل مركبات السلفانيلاميد والمضادات الحيوية . وعموماً فإنه يجب أن يتوفر فى المواد التى تستعمل داخليا كمواد علاجية Chemotherapeutic drugs المواصفات الآتية :

- ١- أن تكون قادرة على زيادة الطفيل أو إيقاف نشاطه دون الإضرار بخلايا العائل .
- ٢- أن تكون لهذه المواد القدرة على الإمتصاص والدخول إلى الخلية البكتيرية بدرجة أكبر من الخلية الحيوانية حتى لا تكون خلايا العائل معرضة للتأثير الضار .
- ٣- أن تكون على درجة عالية من الثبات بحيث لا تفسد من تأثير سوائى الجسم الغنية بالبروتينات .
- ٤- أن لا تؤثر على وسائل جسم العائل الدفاعية مثل كرات الدم البيضاء والأجسام المضادة .

ومن هذه المواد نذكر على سبيل المثال لا الحصر الآتى :

١- مركبات السلفا Sulfa-containing compounds

بدأ إكتشاف هذه المركبات ١٩٣٥ وهى تعتبر من أول المركبات العضوية التركيبية التى استعملت داخليا فى علاج الأمراض البكتيرية بجسم العائل . ويعتبر مركب P-aminobenzene sulfonamide المعروف باسم السلفانيلاميد Sulfonamide من أول المركبات التى إكتشفت فى هذا المجال . ومركبات السلفانيلاميد توقف نمو البكتيريا دون أن تقتلها وعند تناولها فإنها توقف نمو الميكروب الممرض بجسم العائل ، وبذلك تسهل لأجهزة المقاومة بالجسم مثل كرات الدم البيضاء والأجسام المضادة التخلص من الميكروب .

وتأثير مركبات السلفانيلاميد على الميكروبات يعود إلى أنها تعتبر مركبات تنافسية لحمض البارامينوبنزويك، فتتحد بإنزيمات التمثيل الغذائي بدلاً من الحمض المذكور نظراً لتشابهها معه في التركيب وهذا ما يسمى

Competitive inhibition

ونظراً لما لمركبات السلفانيلاميد من قيمة علاجية فقد حضر منها مركبات لإستعمالها للعلاج و يرجع تركيبها أساساً إلى المركب السلفانيلاميد بإستبدال ذرات الأيدروجين في مجموعة الأمين بمركبات أخرى ومن أمثلة هذه المركبات السلفانيلاميد (المركب الأساسي لمركبات السلفا) ويستعمل ضد الميكروبات السبحية *Streptococcus spp.* ويستعمل السالفابيريدين Sulfapyridine ضد الإلتهاب الرئوى *Pneumoniae* . ويمتاز مركب سالفاديازين Sulfadiazine بإتساع مجال فعاليته وهو يستعمل ضد الحمى الشوكية النخاعية والسيلان ، الإلتهاب الرئوى وإلتهاب اللوز . ومركب سلفاثيازول Sulfathiazole يستعمل ضد السيلان . ويستعمل مركب سلفاجوانيدين Sulfaguanidine ضد الإرتباك المعوى الناتج عن البكتيريا السالبة لصبغة جرام التابعة لعائلة Enterobactriaceae

ب- مضادات الحيوية Antibiotics

مضادات الحيوية هي عبارة عن مواد كيميائية عضوية ذات وزن جزيئى مرتفع تفرزها بعض الأحياء الدقيقة مثل البكتيريا والأكتينوميستات والفطر نتيجة عملية التمثيل الغذائى Metabolic products التى تقوم بها وهذه المواد تبيد أو توقف نمو كائنات دقيقة أخرى . ويعود تأثير هذه المركبات على الميكروبات إلى أن بعضها يؤثر على عملية الإنقسام والبعض يؤثر فى التنفس ، والبعض الآخر يؤثر على عمليات التمثيل الغذائى بالخلية. فمثلاً يؤثر البنسلين على تكوين الجدار الخلوى للخلايا النامية مما يؤدي إلى

منع عملية الإنقسام وإلى إستطالة الخلية كما يؤثر على درجة نفاذية الغشاء السيتوبلازمي ويمنع تمثيل البروتين بالخلية . أما الإستربتوميسين فإنه يثبط عملية التنفس بالخلية وخصوصاً دورة حامض الستريك . والكلورامفينيكول ومركبات التتراسيكلين يؤثران على عملية التنفس وعلى عملية تمثيل البروتين بالخلية ويقوم Bacitracin بالتأثير على الغشاء الخلوي مما يسبب تحلل الخلية . وهكذا فإننا نجد أن لكل مضاد حيوى التأثير الخاص به مما يثبت تخصصية التأثير .

ويرجع الفضل فى أكتشاف هذه المركبات إلى العالم البريطانى Alexandre Fleming سنة ١٩٢٩ الذى أكتشف البنسلين من الفطريات ثم توالى بعد ذلك الإكتشافات التى كان من أهمها ما قام به Solman Waksman وزملائه سنة ١٩٤٠ من تحضير الإستربتوميسين من الأكتينوميستات . ولقد أمكن بعد ذلك تحضير الكثير من مضادات الحيوية بحالة نقية بواسطة الميكروبات كما أمكن تحضير بعضها بطرق تخليقية معملياً .

ونظراً لأهمية مضادات الحيوية العظيمة من حيث قيمتها العلاجية للإنسان والحيوان فقد ظهر العديد منها نتيجة للبحوث العلمية التى أجريت وتلك التى مازالت مستمرة فى موضوع التضاد بين الميكروبات . ويتجه البحث دائماً إلى إكتشاف مضادات حيوية جديدة ذات فعالية عالية ضد الميكروبات خصوصاً تلك التى أصبحت لا تتأثر بالمضادات التى كانت شائعة الإستعمال ، نتيجة تكون طفرات جديدة مقاومة لها . ويجب أن نأخذ فى الاعتبار أن لجميع مضادات الحيوية أثراً ساماً محدودة على الإنسان والحيوان . هذا علاوة على أن بعضها يسبب مشاكل للإنسان من حيث حساسية بعض الأفراد لها كما أنها تسبب قتل الميكروفلورا النافعة الموجودة طبيعياً بالقناة الهضمية التى تقوم بتجهيز الفيتامينات اللازمة للجسم مما يلزم

إعطاء المريض كميات كافية من الفيتامينات اللازمة للجسم خاصة التابعة لمجموعة ب مما يؤكد ضرورة إستعمال مضادات الحيوية بحرص شديد وتحت وإشراف طبي . وكلما كان المضاد المستعمل ذو مجال ميكروبي متسع Wide spectrum أى يؤثر على عدد كبير من الميكروبات مثل البكتيريا الموجبة والسالبة لجرام والفيروسات والبكتيريا الصامدة للأحماض ... ألخ كلما كانت له قيمة علاجية كبيرة .

ومن الملاحظ أن كثيراً من الأنواع كالبكتيريا والإستربتومييسيتس والفطر التى تنتج مضادات الحيوية تعيش جميعها بالتربة ويمكن عزلها بحالة نقية للأغراض المختلفة وأول مضادات الحيوية المعروفة هو البنسلين Penicillin والذي ينتجه فطر *Penicillium notatum* حيث وجد له دور فعال فى علاج نزلات البرد وبعض الأمراض الأخرى سواء للإنسان أو للحيوان ومعظم مضادات الحيوية الفعالة والمعروفة بقيمتها العلاجية تنتجها أجناس ميكروبية مثل *Penicillium* ، *Bacillus* ، *Streptomyces* ولقد وجد أن بعض سلالات *Staphylococcus aureus* التى لا تحتاج للأحماض الأمينية فى نموها تكون مقاومة للبنسلين بينما التى تحتاج للأحماض الأمينية فقد وجد أنها حساسة للبنسلين .

ولقد وجد أن البنسلين يثبط تكوين الجدار الخلوى وخاصة أنه يتعارض مع إدخال Acetylmuramic acid فى بناء الجدار الخلوى وبذلك لا يتم تخليق الميكوبيتيد . ولقد ثبت أن الخلايا العسوية الحساسة للبنسلين ينتج نثوء فى جدار الخلية والتى يندفع منها السيتوبلازم ويحدث له تحلل وتلف للخلية ويلاحظ أن الخلايا النامية فقط هى التى تتأثر بالبنسلين حيث أن الخلايا النامية هى التى تخلق جدرها الخلوية . هذا وتعتبر كل خلايا الإيوكاريوتات Eucaryotic cells مقاومة تماماً للبنسلين نظراً لأنها لا تمتلك

الميكوببتيد في جدرها الخلوية . ويلاحظ أيضاً أن المضاد الحيوي Cephalosporin يعمل بطريقة مماثلة للبنسلين على الجدر الخلوية للبكتيريا. بينما الطريقة التي يؤثر بها الإسترنتوميسين Streptomycin أنه يحدث ضرر للغشاء الخلوي ويتداخل مع وظيفة الريبوسومات في بناء البروتين .

الفصل العاشر :

تقسيم البكتيريا والأهمية الاقتصادية

تقسيم البكتيريا أهميتها الاقتصادية

Bacterial taxonomy and economic importance

أولاً : تقسيم البكتيريا Bacterial Taxonomy

يختص علم التقسيم Taxonomy بثلاثة مباحث هي :
المبحث الأول : هو تحديد ماهية وضع مجموعة الكائنات الحية تحت الدراسة بين الكائنات الحية عموماً أي ما يسمى

Systematic position

المبحث الثاني : يختص بكيفية تسمية أفراد هذه المجموعة من الكائنات موضع الدراسة .. أو ما يسمى Nomenclature

المبحث الثالث : وهو كيفية ترتيب الأفراد المسماة ، في وحدات تقسيمية taxa (Sing. taxon) أو مجاميع بطريقة منظمة تبين درجة التقارب في صفات معينة بين أفراد الوحدة التقسيمية كما توضح أيضاً درجة الاختلاف أو التباعد بين مجموعة ومجموعة أخرى .. وهذا هو ما يسمى بالتصنيف

Classification

وفي الدراسات البيولوجية بصفة عامة لا يمكن الفصل بين التسمية Nomenclature والتصنيف Classification حيث يعتمد كل منهما على الآخر وقبل أن نخوض في دراسة تصنيف البكتيريا لا بد أن نتعرض بإلقاء الضوء على كل من الوضع التقسيمي لها بين عوالم الأحياء وكذلك كيفية التسمية للبكتيريا.

أولاً : الوضع التقسيمي للبكتيريا Systematic Position of Bacteria

ظلت البكتيريا لمدة طويلة منذ إكتشافها بواسطة Antony Van Leeuwenhoek (1723-1632) وكان تاجر وصانع عدسات هولندي نابغة إذ كان يهوى صناعة العدسات ويركبها على أجزاء معدنية ، وإكتشف الميكروبات Microorganisms " Microbes " ولم يكن يعلم عنها شيئاً سنة ١٦٧٢ ثم أرسل برسوماته لهذه الأحياء الدقيقة إلى الجمعية الملكية في لندن R.S.L حيث كانت الجهة المسئولة عن تقدم العلوم في ذلك الوقت .. ولم تدع هذه الرسومات مجالاً للشك من أنه شاهد الأحياء الدقيقة من خلال العينات التي كان يفحصها .. وفي سنة ١٦٨٢ أعتبر ليفنهوك المكتشف الحقيقي للميكروبات وبعثت له ملكة إنجلترا في ذلك الوقت وكرمته. وكان قبل ذلك يشار لها على أنها حيوانات وضمت مع البروتوزوا Protozoa حيث إعتبرها عالم الحيوان الدنماركي مولر Müller في مؤلفة سنة ١٧٧٣ ، وأيضاً عالم البيولوجيا الألماني إرنبرج Ehrenberg في موسوعته التقسيمية للبروتوزوا سنة ١٨٣٨ . ولكن قبل نهاية القرن التاسع عشر تغيرت النظرة للبكتيريا وإعتبرت على أنها كائنات نباتية بدائية ، وتلى ذلك أن قام عالم النبات (الميكروبيولوجيا) الألماني كون Cohn بعمل أول تقسيم للبكتيريا حيث إعتبرها مجموعة مميزة ومختلفة تماماً عن البروتوزوا ونشرة سنة ١٨٧٢ وأعيد نشرة مرة أخرى في عام ١٨٧٥ . وفي ذلك الحين ظهرت عدة أنظمة تقسيمية للبكتيريا ولكنها جميعاً لم تقبل على المستوى العالمي .

ولقد تقدم Ernst Haeckel وهو أحد تلاميذ دارون Darwin سنة ١٨٦٦ بإقتراح خلق مملكة جديدة أسماها Kingdom Protistae بالإضافة إلى المملكتان الكبيرتان المعروفتان Animalia & Plantae وذلك للهروب من الإنتقادات التي كانت توجه لوضع الكائنات الدقيقة في أي من المملكتان .

وظهر في عامي ١٨٩٩ ، ١٩٠١ كتاب قيم يسمى Determinative Bacteriology بواسطة Prof. D.F. Chester للتصنيف ولم يغير من وضع البكتيريا في عوالم الأحياء ، وهذا الرجل هو الذي قاد تكوين الـ SAB التي صارت الآن ASM. وفي الاجتماع السنوي لجمعية البكتيريولوجيين الأمريكيين SAB في مدينة Urbana سنة ١٩١٥ فوضت الجمعية العالم C.E.A. Winslow والذي كان رئيساً للجمعية أن يقوم بوضع نظام جديد لتصنيف وتسمية البكتيريا وتم تقديم تقرير جيد في اجتماعها سنة ١٩١٦ ونشر سنة ١٩١٧ وآخر تقرير نشرته الجمعية سنة ١٩٢٠.

ثم تشكلت لجنة جديدة من هذه الجمعية برئاسة D.H. Bergey (David Hendricks Bergey 1860-1937) بقصد إخراج هذا التصنيف في صورة أكثر صلاحية من ناحية التطبيق العملي. وفي سنة ١٩٢٣ نشر هذا النظام في صورة كتيب سمي " كتيب تمييز البكتيريا " Manual of Determinative Bacteriology - ولقد أعيد نشر هذا الكتيب على فترات متتالية بعد إدخال التعديلات الملائمة في أعوام 1930, 1934, 1939, 1948, 1925 برئاسة D.H. Bergey وفي سنة ١٩٥٧ ظهرت الطبعة السابعة منه بإشتراك ٩٤ عضواً من العلماء المتخصصين برئاسة Robert S. Breed وفي هذه الطبعة عدل تقسيم المملكة النباتية إلى شعبها لأقسامها الأربعة على النحو التالي (عام ١٩٤٨ طبقاً للطبعة السادسة من كتيب برجي لتمييز البكتيريا) :

Kingdom : Plantae

Division 1 : Spermatophyta :

ذات بذور وازهار

Division 2 : Bryophyta :

e.g. Mosses & liver worts

الحزازيات

Division 3 : Pteridophyta

e.g. Ferns

السراخس

Division 4 : Thallophyta

الثالوسيات : ليس لها جذور أو سوق أو أزهار أو أوراق وهى بسيطة التركيب وتشمل الآتى :

4a : Subdivision (subphylum) I. Algae

تحت شعبة الطحالب : وهى نباتات قد تكون وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا وتحتوى على كلوروفيل وتنقسم إلى الصفوف الخمسة التالية :

Class 1 : Chlorophyceae

Class 2 : Myxophyceae

Class 3 : Phaeophyceae

Class 4 : Rhodophyceae

Class 5 : Bacillariophyceae

4b : Subdivision (subphylum) II : Fungi الفطريات

وهى نباتات وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا ولا تحتوى على الكلوروفيل مثل الخمائر والفطريات وتنقسم إلى الصفوف الستة التالية :

Class 1 : Basidiomycetes

Class 2 : Ascomycetes

Class 3 : Deuteromycetes

Class 4 : Phycomycetes

Class 5 : Myxomycetes

Class 6 : Schizomycetes

أما في الطبعة السابعة من كتيب برجي لتمييز البكتريا

عام ١٩٥٧ Bergey's Manual of Determinative Bacteriology

فقد تم إستحداث القسم الخامس وهو Division : Protophyta وتسمى قبيلة النباتات الدنيئة وتشمل الطحالب الخضراء المزرقّة والبكتيريا والفيروسات وهو يضم الآتى :

- Class 1 : Schizophyceae الطحالب الخضراء المزرقّة
Class 2 : Schizomycete الفطريات التى تتكاثر بالإتقسام الثنائى
Class 3 : Microtobiotes أصغر الكائنات الحية وحتمية التطفل
والصف الثالث قد يشار له أحيانا بالـ micro-organisms وتم تخصيصه ليضم الآتى :

Order I : Rickettsiales

Order II : Virales

ولابد من الإشارة إلى أنه فى الثلاثينات من القرن الماضى تقدم H.F. Copeland بإقتراح مملكة أسماها Kingdom : Monera لتضم الطحالب الخضراء المزرقّة والبكتيريا ، ومملكة أخرى أسماها Kingdom : Protista لتضم بقية الطحالب والفطريات والخمائر والبروتوزوا. وفى هذا الوقت ابتكر E. Chatton إصطلاحين وهما : Eucaryotic and Procaryotic ليعبر بهما عن الاختلافات فى التنظيم الخلوى (التعضية) بين البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقّة من جهة ، وبين جميع الكائنات الأخرى من جهة ثانية.

وفى عام ١٩٦٧ اقترح Von Arx عالم الفطريات الهولندى خلق مملكة أسماها Kingdom Mycota (Fungi) توضع بها الفطريات جميعها وكذلك الكائنات الشبيهة بها والتى كانت مشكوكا فى قرابتها مثل Labyrinthulomycetes ، Acrasiomycetes وبذا تكون مملكة متعددة الأسلاف Polyphyletic.

وفي عام ١٩٦٨ اقترح عالم البكتيريولوجيا الكندي Murray إنشاء مملكة جديدة أسماها مملكة البروكاريوتات Kingdom Procaryotae لتضم البروكاريوتات وهي البكتيريا والطحالب الخضراء المزرققة.

ثم جاء كوبلاند Copland عام ١٩٣٨ بتقريره عن الأربعة ممالك وهو يتاكر Whittaker عام ١٩٦٩ بتقريره عن الخمسة ممالك : Plantae , (Procaryotae) Monera , (Mycota) Fungi , Protista , Animalia ولقد استند النظام خماسي الممالك على التنظيم الخلوي والأنماط الغذائية وحاز قبولاً واسعاً.

ولقد عني نظام هويتاكر خماسي الممالك بالكائنات الدقيقة الخلوية Cellular Microorganisms وإستبعد غير الخلوية noncellular ones والتي تشمل : الفيروسات Viruses ، الفيرويدات Viroids والبريونات Prions.

ولكن هناك من رأى خلق مملكة سادسة لتضم الفيروسات والفيرويدات ولو أن ذلك يلقي إعتراضات كثير من العلماء الذين يرون أن الفيروسات والفيرويدات والبريونات ليست كائنات organisms أى تتفقى عنها صفة الكينونة نظراً لأنها لا توجد في الطبيعة على صورة خلوية cellular.

على هذا يكون كارل فون لينيه Linnaeus قد رسخ النظام ثنائي الممالك لعوالم الأحياء وذلك عام ١٧٥٣ ثم وصل الأمر على يد هويتاكر عام ١٩٦٩ بالنظام الخماسي الممالك ، وبعده هناك من يرون سداسية وسباعية العوالم.

على الجانب الآخر كان هناك من يرى تقسيم جميع الكائنات إلى مملكتين عظيمتين 2 Super Kingdoms فأوصى Allsopp عام ١٩٦٩ بإنشاء المملكتين العظيمتين : Eucaryote, Procaryotae لهذا الغرض. لكن علماء البكتيريولوجيا إقتعوا فقط من جانبهم بقصر مملكة البروكاريوتات Procaryotae لتضم الكائنات البروكاريوتية وهي البكتيريا والطحالب الخضراء

المزرقفة. وبطبيعة الحال فإن جميع كل الأيوكاريوتات eukaryotes في مملكة واحدة سوف لا يناسب علماء كل من الحيوان والنبات.

ولقد صدرت الطبعة الثانية من كتيب برجي لتمييز البكتيريا عام ١٩٧٤ متضمنة للإقتراح المقدم من R.G.E. Murray الكندي بمملكة البروكاريوتات والتي يمكن إيجاز تصنيفها على النحو التالي :

Division I : Phototrophic Procaryotes (Photobacteria).

وتمثل البكتيريا الممثلة للطاقة الضوئية وتشمل :

Class 1 : Blue green Photobacteria (Cyanobacteria)

Class 2 : Red Photobacteria

Class 3 : Green Photobacteria

Division II : Procaryotes indifferent to light (Scotobacteria) :

وهذه تشتمل على البكتيريا غير الممثلة للطاقة الضوئية وتشمل :

Class 1 : The bacteria

Class 2 : Obligate intracellular scotobacteria in eucaryotic cells
(Rickettsias)

Class 3 : Scotobacteria without cell walls Mollecutes
(Mycoplasmas).

ولحد كبير فإن هذا التنظيم أظهر بوضوح وضع البكتيريا بين الكائنات الحية عموماً.

ثانياً : التسمية Nomenclature

قام عالم النبات السويدي كارل فون لينيه Carl Von Linne (Carolus Linnaeus ١٧٠٧-١٧٧٨) في أواخر القرن الثامن عشر وتحديدًا في سنة ١٧٦٠ بوضع نظام وأسس التسمية والتقسيم والتي سميت بالنظام المزدوج (الثاني) للتسمية Binomial system والذي وُضع خصيصاً لتسمية

النباتات - وقام بنشر مرجعين هامين هما : Species plantarum , Systema natura - ثم أتبع هذا النظام فيما بعد لتسمية الحيوانات والكائنات الدقيقة ومنها البكتيريا ولا زال متبعاً حتى الآن.

ولقد إصطلح سنة ١٩٠٣ على إتباع الكود النباتي والذي شمل اللوائح والنظم الخاصة بتسمية وتقسيم النباتات) وفي سنة ١٩٤٧ أنشئ أول كود بكتيريولوجي International Bacteriological Code أثناء انعقاد الجمعية الميكروبيولوجية الدولية في كوبنهاجن بالدانمارك. ويشتمل هذا الكود على نظامين من التسمية الأول هو Common, Vernacular or Trivial Names وهو ذات طابع محلي وتختلف حسب لغة البلد. والنظام الثاني هو Scientific Names وهي الأسماء ذات الطابع الدولي يستعملها العلماء جميعاً مهما اختلفت لغاتهم ، وتكوين هذا النوع من الأسماء يُراعى فيه نظام معين متفق عليه دولياً طبقاً للمبادئ والقوانين التي جاءت بالكود البكتيريولوجي المقترح عام ١٩٤٧ ، وتبعاً لذلك فإن : البكتيريا المتشابهة والمتطابقة تماماً تكون ما يسمى بالنوع Species. وتبعاً لنظام التسمية المزدوج فإن كل نوع بكتيري يطلق عليه اسم مكون من كلمتين (إسمين) Binomial كل منهما يجب أن تكون لاتينية أو إغريقية أو مشتقة من أصل لاتيني - إغريقي ، وإن لم تكن كذلك فيجب أن تعامل معاملة لاتينية أو إغريقية (يونانية).

ويكتب أول حرف من الكلمة الأولى (إسم الجنس Genus) بالحرف الكبير Capital letter وقد يكون إسم الجنس مذكراً مثل Micrococcus, Bacillus أو مؤنثاً مثل Pasteurella, Salmonella أو محايداً مثل Corynebacterium, Clostridium.

بعض الأسماء الخاصة بالأجناس قد تكون أسماء لبعض الأشخاص تخليداً لذكراهم وفي هذه الحالة يعامل الإسم معاملة لاتينية مثل :

١- Brucella : تخليداً لـ Sir David Bruce وهو أول من تعرف على الكائن المسبب لمرض الحمى المتماوجة Undulant fever.

٢- Bordetella : تكريماً لـ Jules Bordet حيث أنه ومعه O. Gengou أول من عزل الكائن المسبب لمرض الشهقة (السعال الديكي) Pertussis.

٣- Francisella : صيغ اشتقاقاً من اسم Edward Francis وهو بكتيريولوجي أمريكي له دراسات رائدة على هذه الكائنات التابعة للجنس ومنها مسبب مرض التولاريميا tularemia في الإنسان وكثير من الحيوانات ذوات الدم الحار حيث يتم انتقال المسبب المرضي (F. tularensis) عن طريق blood-sucking arthropods, inhalation, ingestion and contact.

٤- Pasteurella : تكريماً لـ Louis Pasteur عالم البكتيريولوجيا الفرنسي.

٥- Neisseria : تخليداً لـ Dr. Albert Neisser الذي اكتشف الميكروب المسبب لمرض السيلان gonorrhea في سنة ١٨٧٩ .

والكلمة الثانية في الاسم العلمي الثنائي تشير إلى النوع البكتيري وتعرف بالـ specific epithet لا يكتب حرفها الأول كبيراً - وهي إما أن تكون :

١- صفة تؤثر على الاسم السابق لها في درجته بمعنى أنها تتبعه في الدرجة

gender فالمؤنث مثل Sarcina alba ، المنكر مثل Bacillus albus

والمحايد مثل Bacterium album

٢- صفة في صورة اسم فاعل Present participle مثل :

Bacillus coagulans —————> coagulating bacillus

Clostridium dissolvens —————> dissolving clostridium

Bacillus adherens

————→ adhering bacillus

Pseudomonas fluorescens

————→ fluorescing pseudomonas

٣- إسم في حالة المضاف إليه ويعطى صفة الإضافة لو التملك مثل :

Streptococcus lactis

————→ Streptococcus of milk

Brucella abortus

————→ Brucella of abortion

Salmonella pullorum

————→ Salmonella of chicks

(chickens)

Clostridium welchii

————→ Welch's clostridium

٤- أن يكون إسمًا للتوضيح عن طبيعة إسم لو طبيعة الميكروب وليس شرطًا أن تتبع الكلمة الأولى من ناحية الجنس مذكراً أو مؤنثاً مثل :

Rhizobium phaseoli Bean group

فاصوبيا وفول

Phaseolus : generic name of the bean, phaseoli of Phaseolus

Rhizobium trifolii : Trifolium is the generic name of clover; trifolii of clover.

R. lupini : Lupinus is the generic name of lupine; lupini of *Lupinus*.

Streptomyces scabies

————→ scab Streptomyces

Bacillus radicicola

————→ root dweller bacillus

٥- إسم يوضح مكان تواجد الميكروبات مثل :

Escherichia coli

————→ coli of colon

Rickettsia canada Canada, the country where organism was first isolated

هذا ويمكن إضافة كلمة ثالثة إلى الاسم العلمى الثنائى ليشير إلى مؤلف الاسم الثنائى وليست إلى مكتشف الميكروب كما قد يعتقد البعض مثل:

Bacillus subtilis Cohn, *Bacillus coagulans* Hammer

وقد يوجد أكثر من كلمة واحدة عقب الاسم العلمى الثنائى ، وتكون الأولى

منها بين قوسين كما يلى : *Erwinia carotovora* (Jones) Holland
معنى ذلك أن Jones هو أول من سمى الميكروب وأعطاه الاسم النوعى Specific epithet ولكنه كان قد وضعه تحت جنس آخر - لكن Holland هو الذى وضع هذا النوع تحت جنس *Erwinia*.

Staphylococcus aureus (Rosenbach) Winslow & Rogers

وأحيانا يقسم النوع Species إلى أصناف أو سلالات Varieties or Strains وذلك عندما تكون الاختلافات بسيطة بين أفراد النوع ولا تكفى لوضعها فى أنواع مستقلة مثل :

1- *Streptococcus faecalis* var. *liquefaciens*, i.e.

a gelatin liquefying variety of a faecal Streptococcus

2- *Streptococcus lactis* var. *maltigenes*, i.e.

a malty flavor producing variety of a milk streptococcus

3- *Micrococcus pyogenes* var. *aureus*.

ثالثا : التصنيف Classification

قبل أن نتعرض لدراسة تصنيف البكتيريا لا يفوتنا أن نلخص بعض الصعوبات التى أخرجت تقسم هذه النوعية من الدراسة فى الآتى :

١ - تعدد وفروع علم البكتيريولوجيا حيث يوجد منها الفروع الآتية :

General Bacteriology, Food & Dairy Bacteriology, Agric. Bacteriology, Medical Bacteriology and Industrial Bacteriology nomenclature والتصنيف classification. وهكذا .. حيث أن لكل فرع أثره على طرق التسمية

٢- صعوبة جمع عينات البكتيريا والإحتفاظ بها بحالة طبيعية لمدة طويلة دون أن يطرأ عليها تغيرات ، الأمر الذي لا يحدث بعينات النبات والحيوان، حيث أن هذه الكائنات الدقيقة تكون عرضة للتغيرات في تركيبها الجيني نتيجة لسرعة التكاثر. حيث يمثل نمو وإقسام الخلايا البكتيرية عملية دورية cyclical ، وكل خلية جديدة تتكون تصبح ذات قدرة على التكاثر .. بمعنى أن الخلايا الجديدة الناتجة عن الإقسام تمتلك الخصائص الفسيولوجية التي كانت تميز آباءها القادرين على التكاثر. حيث أنه بتلقيح بيئة غذائية بخلية بكتيرية واحدة فإنها تبدأ في الإقسام إلى خليتين وتستمر الخلايا الجديدة الناتجة في الإقسام المتكرر ، والوقت الذي ينقضي بين تكوين الخلية وإقدامها على الإقسام يعرف بالوقت الجيلي generation time. وفترة الوقت الجيلي تعتمد على عدة عوامل - منها السلالة الميكروبية ، تركيب البيئة الغذائية ، درجة الحرارة و عمر المزرعة. ويختلف الوقت الجيلي بدرجة كبيرة باختلاف النوع البكتيري تحت الظروف البيئية المثالية - فيتراوح عموماً بين ٢٠ دقيقة لو قل إلى عدة ساعات - فإذا بدلنا بخلية واحدة - فإن :

$$\begin{aligned} \text{عدد الخلايا بعد الجيل الأول} &= 1 \times 2 \\ \text{عدد الخلايا بعد الجيل الثاني} &= 1 \times 2^2 \\ \text{عدد الخلايا بعد الجيل الثالث} &= 1 \times 2^3 \\ \text{عدد الخلايا بعد الجيل الرابع} &= 1 \times 2^4 \\ \text{عدد الخلايا بعد عدد "ن" من الأجيال} &= 1 \times 2^n \end{aligned}$$

لكنه في الواقع لا تبدأ المزارع البكتيرية بخلية واحدة - بل تبدأ بعدد من الخلايا يتراوح بين $(10)^1 - (10)^2$ خلية - إذن عدد الخلايا بعد عدد "ن" من الأجيال $= a \times (2)^n$ حيث "a" هو عدد الخلايا في اللقاح المستعمل. ولتوضيح صعوبة الاحتفاظ بالعينة البكتيرية مدة طويلة بدون تغيير نأخذ مزرعة من ميكروب *Serratia marcescens* كمثال فهي تنتج صبغة حمراء متألقة ، ممكن أن يظهر على أطباق الزرع المتكرر منها بعض المستعمرات colonies البكتيرية البيضاء (عديمة اللون) ، والتي تتشابه تماماً مع المجموعات المنتجة للصبغة ، فكل الخلايا البكتيرية في كلا الطرازين من المستعمرات colonies لها نفس الصفات ، فقط الاختلاف هو في فقدان المجموعات الجديدة (المتغيرة) في إنتاج الصبغة. علاوة على ذلك ، فإن السلالة الجديدة والتي فقدت خاصية إنتاج الصبغة يمكن لبعض أفرادها بتكرار الزرع أن تعود ثانياً منتجة للصبغة.

وظاهرة فقدان صفة معينة مميزة لنوع بكتيري ثم رجوعها ثانياً تسمى بالتطفر العكسي reverse mutation ، ويطلق على تلك الأفراد (السلالة) "طفرة راجعة أو عكسية" reverse mutant. وهذا التطفر يحدث طبيعياً ، وبصفة تلقائية spontaneous معظم أنواع الطفرات الطبيعية تحدث تلقائياً بالطبيعة بمعدل يتراوح بين $1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-10}$. ولو أن معدل التطفر في صفة تلون المستعمرات colonies يتراوح بين $1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-7}$.. وتسمى طفرات تلوينية pigmentation mutants. وتفتقر الطفرات التلوينية عادة إلى الثبات حيث تترد إلى أصلها بعد عدة أجيال متعاقبة من النمو. والتطفر mutation يحدث بمعدل يسمى معدل التطفر/خلية بكتيرية/دورة إنقسامية. ويندر في الطبيعة مشاهدة الطفرات التلقائية spontaneous mutants إلا إذا كانت البيئة وظروفها تسمح بتأقلم الطفرة

المتكونة طبيعياً في المجموع الذي تنشأ فيه ، وإلا فتكون فرصة بقاء الطفرة وتألقها قليلة جداً بحيث تمر دون ملاحظة. هذا ويمكن إحداث مثل هذا التغير (التطفير) عمداً ، مثل نقل عوامل المقاومة (مضادات الحيوية) R-factors أو إنتاج سلالات منتجة للتوكسين toxigenic من سلالات غير منتجة من ميكروب الدفتريا *Corynebacterium diphtheriae* وهذه الظاهرة الأخيرة تسمى Transduction.

٣- الإقتلار إلى تكتيك وطرق تحليل ثابتة وموحدة ودقيقة ، وبيئات زرع قياسية تصلح في جميع الأماكن من العالم ، وصعوبة تقدير التراكيب الجزيئية للقواعد النيتروجينية في كثير من البكتيريا.

التصنيف الرقمي : Numerical Taxonomy

قد يسمى أيضاً للتصنيف الحسابي ويعتمد على أسس معروفة منذ سنوات عديدة ، لكنه لم يستخدم في مجال التصنيف الميكروبي إلا حديثاً. ففكرة التقسيم الرقمي أول ما وصفت كانت بواسطة مايكل أدانسون Michel Adanson سنة ١٧٥٧ ولول إستخدامها في مجال تصنيف البكتيريا كان على يد Sneath سنة ١٩٥٦. يتطلب التصنيف الرقمي توفر كم كبير من المعلومات بقدر ما يمكن للباحث التوصل له حول الخصائص غير المرتبطة ببعضها عن الميكروب موضع الدراسة. ويكون لكل خاصية نفس القدر من الأهمية Equal weight عند إجراء التقسيم وتكوين المجموعات أو الوحدات التقسيمية taxa (Sing. Taxon).

ويعتمد التشابه الإجمالي overall similarity على نسبة الخصائص التي تكون متوافرة بالميكروب بصفة عامة. وبصيغة عملية يقوم إختصاصي الميكروبيولوجيا Microbiologists بتجميع النتائج عن كل مزرعة ميكروبية تحت الدراسة. وباستخدام الحاسب الإلكتروني تجرى مقارنة نتائج كل

مزرعة فيه! يتعلق بالخواص المظهرية phenotypic characters بنتائج الأخرى حيث تدون النتائج على هيئة "+" في حالة وجود الصفة و "-" في حالة غيابها. وهنا تتجلى أهمية الحاسبات الآلية ذات السرعات العالية وإلا فإن الآلاف العديدة من المقارنات المطلوب إجراؤها سوف تحتاج لوقت يطول كثيرا جدا. وتبدو النتيجة النهائية في أن اختصاصى الميكروبيولوجيا يمثل الحساب وكذا التعبير الرقوى لدرجة تشابه كل مزرعة بأى مزرعة أخرى مهما كانت. ويقوم إنشاء المجموعات taxa على أساس درجات الشبه المتفق عليها. وتجدر الإشارة هنا إلى أن طبيعة المجموعة الموصفة identified group تكون وحيدة الأصل (العرق) Monothetic فى حالة المدرسة التقليدية المظهرية phylogenetic school ، لكنها تكون متعددة الأصول (الأعراق) polythetic فى حالة الاتجاه التقسيمى الرقوى. ففى حالة التقسيم المظهرى يفترض وجود سلسلة أسلاف عامة a common ancestry لنفس الكائنات بذات المجموعة (الوحدة التقسيمية). على العكس من ذلك ، لا يتفق التقسيم الرقوى مع تلك الفرضية العرقية Phyletic assumption.

وهناك ميزتين أساسيتين لهذا الطراز من التصنيف الرقوى :

١- يمكن تحقيق الموضوعية به أى منع النزعات (أو التحاملات) biases التى يمكن أن تعترى فكر اختصاصى علم التقسيم taxonomist خلال التطبيق ، ومن ثم تكون النتائج غير معرضة لاختلاف الآراء.

٢- الميزة العظيمة الأخرى للتصنيف الرقوى تتجلى فى أن نتائجه تكون قابلة للإستخراج ثانية Reproducible أو قابلة للإعادة لو التكرار Repeatable بمعنى أن أى اختصاصى آخر فى التقسيم taxonomist سوف يصل لذات النتيجة فى حالة إتباعه نفس التكنيك procedure. ثمة إنتخاب الصفات المميزة وتقديرها فى المعمل وجدولتها ، فإنه يجرى

تُشيرها للتحليل الرقمي computer or numerical analysis. وتستخدم الحاسبات الإلكترونية غالباً في مثل تلك الأعمال حيث تحسب النسب المئوية للتشابهات percentage similarities (%S) للميكروب ويعبر عنها كمعاملات تضاهي matching coefficient (% S values) لكل ميكروب على النحو التالي :

$$\begin{aligned} \% S &= \frac{N_{sp}}{N_{sp} + N_d} \times 100 \quad \text{or} \\ &= \frac{N_{sp} + N_d}{N_{sp} + N_{sn} + N_d} \times 100 \end{aligned}$$

وعلى أية حال فإننا سوف نسلک في دراسة هذا المقرر المدخل الكلاسيکی (المظهري) لتصنيف البكتيريا وحيث يلخص التصنيف عادة بالوحدات التقسيمية الآتية :

Kingdom مملكة

Division or phylum فرقة

Class قسم

Order رتبة

Family عائلة

Tribe فصيلة

Genus جنس

Species نوع

Subspecies or variety or individual سلالة

الخصائص والمعايير المستخدمة في تصنيف البكتيريا

ويمكن حصر الخصائص والمعايير التي تستخدم في تصنيف البكتيريا إلى الآتي :

أولاً : الخصائص الميكروسكوبية Microscopic characteristics

وتمثل هذه الخصائص أهمية كبيرة في تصنيف البكتيريا حيث توضح مورفولوجيا البكتيريا من حيث شكل الخلية - حجم الخلية - نظام تجمع الخلايا - نظام توزيع الأسواط - وجود الكبسولة وكذلك وجود الجراثيم الداخلية. كذلك توضح هذه الخصائص نتيجة الصبغ ببعض الصبغات المختلفة مثل صبغة جرام والصبغة الصامدة للأحماض والتي تساعد بدور كبير في عملية التصنيف.

ثانياً : خصائص النمو Growth characteristics

وهذه الخصائص لها دوراً فعالاً في عملية التصنيف مثل شكل النمو في المزارع السائلة إما تكون في صورة راسب ، أو في صورة نمو سطحي أو في شكل عكارة في الوسط الغذائي. كذلك تتعلق بعملية إنتاج الصبغات من عدمه سواء كانت صبغات مفرزة خارج الخلية البكتيرية أو صبغات داخلية. كذلك تلعب مورفولوجيا المستعمرات البكتيرية دوراً هاماً في هذا الشأن حيث تسمى المواد التي تنمو عليها البكتيريا في المعمل مستنبطات أو بيئات غذائية وهي تحتوي مواد غذائية مختلفة. بعض هذه المستنبطات تحتوي على أملاح غير عضوية وأحياناً يضاف إليه مادة عضوية أو أكثر. والبعض الآخر يحضر من مركبات عضوية معقدة التركيب كمستخلصات النباتات أو مهضوم الأنسجة وهناك ظروف خاصة تؤثر على نمو البكتيريا على هذه المستنبطات مثل درجة الحرارة فبعض البكتيريا لا يستطيع النمو على درجات حرارة أقل من 39° م ، ولكنه ينمو على درجات حرارة أعلى من ذلك وقد

تصل إلى ٧٠°م. والبعض الآخر لا يمكنه النمو على ٣٥°م فما فوق ذلك ويمكنها النمو على درجة صفر م ويسمى ذلك بالإحتياجات الحرارية للكائنات. أما بقية الخواص المزرعية فتتمثل في الإحتياجات الهوائية فبعض الكائنات يحتاج إلى الأوكسجين والبعض الآخر لا يحتاج بحيث يستطيع المعيشة بدون الأوكسجين والبعض يمكنه أن يعيش في وجود أو غياب الأوكسجين أما بالنسبة لنوعية الغذاء المقدم في المستنبت فيعرف ذلك بالإحتياجات الغذائية للكائن. فبعض الكائنات يكون ذاتى التغذية الكربونية أى يستطيع الحصول على الكربون اللازم له من مصادر غير عضوية مثل ك_٢ والبعض الآخر ذاتى التغذية النيتروجينية فيستطيع الحصول على النيتروجين اللازم له من النيتروجين الجوى.

ثالثاً : الخصائص البيوكيميائية Biochemical characteristics

وهذه الخصائص أيضاً تقوم بدوراً هاماً في عملية التصنيف حيث تتعلق بالتركيب الكيماوى لمكونات الجدار البكتيرى ، بيوكيمياء الصبغات ، الأجسام المخزنة بالخلية البكتيرية ، جزيئات الحمض النووى RNA وكذلك دراسة أنتيجين الخلية.

رابعاً : الخصائص الفسيولوجية Physiological characteristics

وهذه الخصائص تتعلق بدراسة الإحتياج الحرارى للميكروب وتحديد درجة الحرارة المثلى للنمو وكذلك إستجابة الميكروب للأوكسجين وتحديد نوعية الميكروب بالنسبة للأوكسجين. هذا علاوة على درجة تحمل الميكروب لدرجات الحموضة المختلفة وتحديد نوعية الميكروب بالنسبة للحموضة. كذلك تهتم هذه الخصائص بخاصية تحمل الإسموزية وتحديد نوع الميكروب هذا بجانب إحتياج الميكروب لنسبة الملوحة ومدى تحمله لها ناهيك عن خاصة الحساسية لمضادات الحيوية.

خامساً : الخصائص الغذائية Nutritional characteristics

وهنا يجب دراسة مصادر الطاقة - مصادر الكربون - مصادر النتروجين وكذلك الناتج من عملية التخمير الميكروبي. وكذلك يتم دراسة تحديد طبيعة الأيض الحيوى الميكروبي وتحديد ما إذا كان الميكروب أوتوتروفي ، هتروتروفي مخمر أو من الميكروبات الهوائية مع قياس درجة وكفاءة عملية التنفس.

سادساً : الخصائص الوراثية Genetic characteristics

وبالنسبة للمعايير والخصائص المستخدمة في تصنيف البكتيريا ، تجدر الإشارة إلى أن من أحدثها وأكثرها إفادة في تحديد الاختلافات بين الأنواع وكذا بين الأجناس البكتيرية هي تلك الخصائص الوراثية. إذ من المعروف أن حمض RNA يتكون من سلسلة حلزونية مفردة بينما يكون الـ DNA عبارة عن حلزون مزدوج ترتبط فيه القواعد النيتروجينية بروابط أيدروجينية ، وكل سلسلة منها توجد في وضع عكسي بالنسبة للآخرى Antiparallel arrangement وأنواع الـ DNA للموجود في الطبيعة من كائنات مختلفة تقسم إلى طرازين :

- ١- طراز يسمى GC type وفيه يكون الجوانين والسيتوزين سائدين.

- ٢- طراز يسمى AT type وفيه يكون الأدينين والثيمين سائدين.

وبالنسبة للنوع الواحد من الكائنات الحية عموماً ، فإن تركيب الـ DNA فيه يكون ثابتاً مهما كان نوع النسيج أو العمر ، بمعنى أن يظل تركيب القواعد النيتروجينية ثابتاً في هذا النوع - وهذه خاصية في غاية الأهمية. ومن الملاحظ أن هناك اختلافات كبيرة في النسبة $A + T : G + C$ في الكائنات المختلفة ، إلا أن هذه الاختلافات ليست عشوائية حيث نجد أن تلك النسبة في الكائنات المرتبطة تقسيمياً تكون متشابهة ، ويتضح التشابه بين أفراد لو أنواع الجنس البكتيري عن سواه.

وكما سبق ، فإن الـ DNA يكون في الطبيعة على صورة الحلزون المزدوج ، كما يتضح من الزيادة في الكثافة الضوئية عند التسخين ، وهو ما يعرف بظاهرة الـ Hyperchronic shift حيث يحدث زيادة في إمتصاص الضوء عند تحول DNA المزدوج double stranded إلى DNA وحيد الجديلة single stranded وتعتبر الصورة الأخيرة متغيرة في خواصها الطبيعية denatured فإذا أخذت عينة من الـ DNA من البكتيريوفاج T₂ مثلاً، فإنه بتعرض هذه العينة للحرارة مع قياس الإمتصاص الضوئي عند طول موجي قدره 260nm (2600 Å[°]) وهو أقصى طول موجي تمتص عنده الأحماض النووية للضوء فإن إمتصاص الضوء يظل ثابتاً حتى درجة ٧٥ °م ثم يزيد بمقدار ٣٥ % في مدى أربعة درجات ويصل بعد ذلك إلى إمتصاص الضوء المميز لجزء الـ DNA وحيد الجديلة ويستدل على ذلك أيضاً بالتغير في اللزوجة. ويطلق على درجات الحرارة التي يكتمل عندها نصف عملية التحول من الصورة المزدوجة للسلاسل إلى الصورة وحيدة السلسلة ، درجة حرارة الإنصهار (melting temperature (T_m). ودرجة حرارة الإنصهار ثابتة لكل نوع من أنواع الـ DNA ، وتتوقف قيمتها على المحتوى من G + C لو نسبتهما (%).

وعند تبريد محلول DNA المسخن ، بسرعة فإن إمتصاص الضوء لا يعود للقراءة الأولى ، وإن كان ينقص بعض الشيء - وبفحص المحلول المبرد سريعاً بالميكروسكوب الإلكتروني أو بقياس اللزوجة النسبية يمكن الاستدلال على أن جزء الـ DNA ملف عشوائياً Randomly coiled. بينما إذا بُرد المحلول ببطء (ربما خلال ثلاثة ساعات) فإن الإمتصاص الضوئي ينخفض للقراءة الأولى (الأصلية) مما يعني أن الـ DNA قد إستعاد تركيبه الحلزوني المزدوج المتميز بإرتباطه الدقيق بين القواعد. ويطلق على عملية

التسخين والتبريد البطيء اصطلاح الإلتحام annealing. ولقد أمكن إثبات أن الـ DNA المعامل بهذه الطريقة يحتفظ بخواصه الحيوية.

ولقد استخدمت خاصية الإلتحام أساسا لإختبار مدى توافق أو تكامل complementarity سلسلتين من الـ DNA ، ويعرف هذا الإختبار بإسم إختبار تهجين الـ DNA بـ DNA Hybridization. وفي هذا الإختبار يخلط عينتين من الـ DNA من مصادر مختلفة ، أحدهما معلم بالنيتروجين N^{15} ، وبالأيدروجين الثقيل Dentrion (H^2) وتجرى عملية تسخين لفصل سلسلتى DNA فى كل عينة ثم يبرد المحلول ببطء ليسمح بإرتباط السلاسل حيثما يحدث التوافق. ويستدل على مدى التوافق لولا بإزالة أى أجزاء غير مرتبطة ، بإنزيم يقوم بتحليل السلاسل المفردة ولا يحلل السلاسل المزدوجة ثم يتبع هذه المعاملة إجراء طرد مركزى فى وجود تدرج الكثافة Density gradient centrifugation. ويمكن بهذه الطريقة فصل الـ DNA الثقيل المحتوى على N^{15} ، H^1 وكذلك من الـ DNA المتوسط فى الكثافة والذي ينتج عن إلتحام سلسلة من DNA الثقيل مع سلسلة من DNA الخفيف. وفى هذه الطريقة توضع العينة المراد فصل محتوياتها على سطح محلول مركز من ملح ثقيل من كلوريد السيزيوم cesium chloride ، وعند تعريض الأنبوبة للطرد المركزى فإن محلول الملح يصبح أكثر كثافة عند طرف أنبوبة الطرد المركزى وتتحرك جزيئات الـ DNA إلى حيث تتساوى كثافتها مع كثافة المحلول. وبذلك يكون DNA الثقيل عند طرف الأنبوبة يتلوه DNA المتوسط ثم الخفيف ويتحدد مكان وكمية كل من الثلاثة أنواع بإستخدام أجهزة ضوئية تقيس الإمتصاص الضوئى عند 260 nm وتكون كمية DNA المتوسط الكثافة أى المحتوى على N^{15} ، N^{14} مقياسا لمدى توافق عينتى الـ DNA .

ثانياً : الأهمية الاقتصادية للبكتيريا Economic importance of bacteria
لكي تكتمل الفائدة المرجوة من دراسة البكتيريا لابد من الضروري دراسة الأهمية الاقتصادية سواء كانت موجبة أو سالبة لبعض المجموعات البكتيرية الهامة في حياة الإنسان سواء من الناحية الزراعية أو الصحية .
وتجدر الإشارة هنا بأنه تبعاً للطبعة التاسعة من كتاب برجى سنة ١٩٩٤ الخاص بتمييز البكتيريا Bergey's Manual of Determinative Bacteriology فقد خصصت مملكة البروكاريوتات لتضم جميع الكائنات بدائية النواة من بكتيريا وطحالب خضراء مزرقّة (سيانوبكتيريا). ولقد استخدمت مجموعة من الخصائص (سابقة الذكر) بجانب تركيب الجدار الخلوى فى تصنيف بقية البروكاريوتات وهى البكتيريا إلى ٣٥ مجموعة كل منها يسمى جزء (part) منها ٣٠ مجموعة تضم البكتيريا الحقيقية Eubacteria و ٥ مجموعات تضم الأرشيبوبكتيريا. ويمكن ذكر هذا التقسيم كالاتى :

Kingdom : Procaryotae

Division 1 : Gracilicutes : Gram negative bacteria

وهذه بكتيريا سالبة لصبغة جرام و جدرها رقيقة

Class 1. Scotobacteria

يضم البكتيريا السالبة لجرام الغير ممثلة للضوء

Class 2. Anoxygenobacteria

يضم البكتيريا السالبة لجرام الممثلة للضوء التى لا تنتج الأوكسجين

Class 3. Oxyphotobacteria

يضم البكتيريا السالبة لجرام الممثلة للضوء والتى تنتج الأوكسجين (السيانوبكتيريا)

Division 11. : Firmicutes : Gram positive bacteria

وهى بكتيريا موجبة لجرام جدرها سميكة وقوية

Class 1. Firmibacteria

يضم العصويات أو الكرويات الموجبة لجرام

Class 2. Thallobacteria

يضم الخلايا المتفرعة الموجبة لجرام (الأكتينوميستات)

Division III : Tenericutes

Class 1. Mollicutes

يضم البكتيريا التي تفتقر للجدار الخلوي (الميكوبلازومات)

Division IV : Mendosicutes

Class 1. Archaeobacteria

يضم البكتيريا التي يحتوى جدارها وأغشيتها الخلوية على مركبات غير قياسية لها أنماط وطرز غذائية مختلفة ، وفيما يلي مختصر عن هذه المجموعات البكتيرية ، وأهميتها الاقتصادية الزراعية أو الصحية .

I. Eubacteria :

1. The Spirochetes

الإسبيروكيتات هي البكتيريات الشبيهة بالبروتوزوا ، خلاياها رفيعة slender مرنة الجدار flexuous ملتفة حلزونية helically coiled يبلغ طول الخلية الفردية ٣-٥٠٠ ميكرون ، وبها واحد أو أكثر من الإنشاءات الكاملة لليات complete turns. تتكاثر الإسبيروكيتات بالإنقسام العرضي البسيط. ومن الدراسات التي أجريت بالميكروسكوب الإلكتروني ، إتضح أن الخلايا تبدو وكأنها مكونة من أسطوانة بروتوبلازمية protoplasmic cylinder مجدولة أو مضفرة intertwined بواحد أو أكثر من ليفات محورية axial fibrils (axial filaments) وكلا الإثنان أى الأسطوانة البروتوبلازمية والخيوط المحورية يكونان محاطان بالغشاء الخارجى (outer envelope) outer membrane.

والإسبيروكيئات متحركة إذ يتواجد فيها ثلاثة طرز للحركة تشمل الدوران السريع حول لمحور الطولى للحلزون ، إنثناء flexion (flection) الخلايا. والحركة البريمية أى على إمتداد مسار حلزونى (corkscrew) helical أو محوى serpentine path. الخلايا لا تكون جراثيم داخلية ، الأنواع الكبيرة منها سالبة لجرام ، قد تكون هوائية ، لا هوائية إختياراً ، أو لا هوائية ، كيموهترتروفيه ، تعيش حرة ، معاشيات commensals أو طفيليات parasites.

الأنواع الصغيرة الحجم منها لها قدرة على كسر الضوء أقل كثيراً من غالبية البكتيريا القياسية ، الأمر الذى يتطلب لرؤيتها إستعمال الميكروسكوب ذو الحقل المظلم Dark-field microscope. وبعض هذه الأنواع يصعب صبغة بالصبغات العادية الأنيلينية ، إلا أن صبغة جيمسا Giemsa stain تصلح بنجاح.

وبالبكتيريا التى لها صفات هذا الجزء part وضعت كلها فى رتبة Spirochaetales والتى يتبعها عائلة واحدة هى Family Spirochaetaceae تتلخص خصائصها key characteristics فيما يلى :

- 1- Size, shape of ends and degree of coiling of cells
- 2- Number of turns
- 3- Relationship to oxygen
- 4- Habitat
- 5- Presence of inclusions and bundles of axial filaments as see in phase contrast microscopy
- 6- Catalase
- 7- Oxidase
- 8- Pathogenicity

وإستناداً إلى الخصائص السابقة تصنف العائلة إلى خمسة أجناس على النحو التالي :

١- الخلية الفردية تبلغ ٥ - ٥٠٠ ميكرون طولاً ، ٠,٢ - ٠,٧٥ ميكرون عرضاً ، لا هوائية إختياراً. تعيش حرة في المياه العذبة المحتوية على يدهك وفي البيئات البحرية ، في مياه المجارى والمياه الملوثة مثل جنس *Genus 1 : Spirochaeta*.

٢- الخلية تبلغ ٣٠-١٥٠ ميكرون طولاً ، ٠,٥ - ٣,٠ ميكرون عرضاً ، وبها ٣ - ١٠ ليات كاملة complete turns. يوجد في العينات الحية منها أجساماً محتواه inclusion bodies بيضية الشكل وحزم كبيرة من ليفات محورية axial fibrils. وهذه التراكيب ترى عن طريق تكتيك الفحص الميكروسكوبى متباين الأطوار phase contrast microscopy. أفراد الجنس تعتبر معاشيات commensals عادة في الرخويات mollusks مثل جنس

Genus 2 : Cristispira

٣- الخلية تبلغ ٥ - ١٥ ميكرون طولاً ، ٠,٠٩ - ٠,٥ ميكرون عرضاً سالبة لإختبار الكتاليز والأوكسيديز - لا هوائيات ، معاشيات commensals أو طفيلية parasitic. البعض منها ممرضات pathogens مثل جنس

Genus 3 : Treponema

٤- الخلية تبلغ ٣ - ١٥ ميكرون طولاً ، ٠,٢ - ٠,٥ ميكرون عرضاً ، لا هوائيات ، طفيليات ، البعض ممرض ، تنتقل بوساطة القراد ticks والقمل lice مثل جنس *Genus 4 : Borrelia*.

٥- الخلايا تبلغ ٦ - ٢٠ ميكرون طولاً ، ٠,١ ميكرون عرضاً ، ملفوفة بإحكام وقد يكون لها نهايات منحنية أو خطافية الشكل ، هوائيات ، تعيش

حرة أو متطفلة ، البعض منها يكون ممرض مثل جنس *Leptospira* : Genus 5.

* جنس *Cristispira* : أفراده معاشات ، واسعة الانتشار بين الرخويات ذات المصراع الواحد univalve وذات المصراعين bivalve من الأنواع البحرية وأيضاً متواجدة في المياه العذبة. وعادة تتواجد هذه البكتيريات في قلم السمه (حامل السمه) البلورى crystalline style (وهو تركيب شبيه بالعصا يتكون من إفرازات مخاطية بالحيوان الرخوى) أو توجد في سائل القناة الهضمية.

* جنس *Treponema* : أفراد الجنس كيموأورجانوتروفات ، الأيض تخمري إذ تستخدم الأحماض الأمينية أو الكربوهيدرات أو كليهما معاً. لا هوائييات حتماً ، سالبات لإختبار الكتاليز والأوكسيديز ، سالبة لليوريز urease سالبة للـ V.P. ، لا تختزل النترات ، لا تثبط بخلات اليود Iodoacetate. تتواجد في التجويف الفمى ، المسلك المعوى intestinal tract والمناطق التناسلية للإنسان والحيوانات ، بعض الأنواع ممرضات ، النوع المثالى type species لهذا الجنس هو *T. pallidum* وهو مسبب مرض الزهري syphilis فى الإنسان سواء كان المرض تناسلياً venereal أى مكتسباً acquired نتيجة لعدوى أو إصابة كان يكون بفعل علاقات جنسية - أو كان المرض خلقياً مع الولادة congenital. ويتواجد هذا الميكروب فى القرع الزهرية syphilitic lesions.

ويطلق عموماً على الأمراض التى يسببها أفراد هذا الجنس " أمراض التريبونيماتوزس treponematoses " ، ومنها الزهري syphilis فى الإنسان ويسببه *T. pallidum* ، المصع yaws (framboesia) فى الإنسان ويسببه *T. Pertenu* وبنّا pinta أو كاراتى carate فى الإنسان ويسببه

T. carateum ، والحالة المسماة Vincent's infection وتنشأ عن تواجد *T. vincentii* في التجويف الفمى للإنسان. ويتسبب ذلك في إنبعاث روائح كريهة من الفم وهي الحالة المسماة أيضا " فم الخندق trench mouth " وكثيرا ما تحدث هذه الحالة عند الأشخاص الذين يعانون من متاعب بالثة وحين يعاني المريض من نقص فيتامين B أو C وكذلك الأشخاص المصابون أصلا بالهربس التناسلى Herpes simplex (mononucleosis).
جنس *Borrelia* : أفرادها سالبات لجرام ، تصطبغ جيدا بالصبغات الأنيلينية وبصفة خاصة في حالة استعمال الفينول كمثبت للصبغة ، لا هوائيات إجبارا. والبوريليات *borrelias* بصفة عامة طفيلية أو تعيش على الأغشية المخاطية. البعض منها ممرض للإنسان ، الحيوانات ، الطيور. وتنقل الأنواع التى تصيب الإنسان بالحمى الراجعة *relapsing (recurrent) fever* إليه عن طريق قمل الإنسان (*Pediculus humanus subsp. humanus*) أو أنواعا من القراض *ticks* تتبع لجنس *Ornithodoros* والذى يعتبر غالبا ناقل للحمى الراجعة الأفريقية والتي تسمى لذلك " حمى القراد tick fever " ، والجنس السابق للقراد يتبع عائلة *Argasidae* والتي تضم أنواع القراد اللين *soft ticks*.

وجنس *Borrelia* يضم حوالى ١٩ نوعا معظمها يسبب الحمى الراجعة للإنسان ، منها النوع *B. recurrentis* مسبب الحمى الراجعة الوبائية *epidemic relapsing fever* فى الإنسان ، وينتقل الميكروب للإنسان عن طريق القمل ، والنوع *B. hispanica* مسبب الحمى الراجعة المتوطنة *endemic human relapsing fever* فى شمال أفريقيا والأقطار المحيطة بالبحر الأبيض المتوسط ، والنوع *B. hermsii* مسبب الحمى الراجعة المتوطنة فى الإنسان فى غرب الولايات المتحدة وكندا.

بعض أفراد الجنس مثل النوع *B. refringens* يوجد كمعاشيش على الأعضاء التناسلية الخارجية للمرأة ، كما أن كثيراً من البوريليات ذو أهمية بيطرية كبيرة نظراً لإصابتها للماشية والأغنام والخيول والطيور بأمراض خطيرة، وفي معظم هذه الأمراض ينتقل الكائن المسبب عن طريق القراد ticks. جنس *Leptospira* : أفراد هوائية حتمًا ، كيموأورجانوتروفات ، الأيض تنفسي ، مستقبلات الإلكترون النهائية هي سيتوكرومات C_1 , C_2 , a . المواد منتجة الطاقة لا بد وأن تشتمل على أحماض دهنية كمصدر للكربون. بعض أفراد الجنس طفيليات أو ممرضات في الفقاريات ، وبعضها يعيش حراً ولقد اكتشف هذا الجنس بواسطة Noguchi في العشرينات من القرن الماضي ودرس خصائص النوع *Leptospira icterohemorrhagiae* (وهو يسمى الآن *L. interrogans*) عام ١٩١٨ ، وهو الذي يسبب مرض اليرقان Jaundice (أو مرض فيل Weil's disease) في الإنسان والحيوان.

ويطلق على مجموعة الأمراض التي يسببها أفراد هذا الجنس اسم " لبتوسبيروسيس *Leptospiroses* (sing. *Leptospirosis*) ". ولقد لوحظ مرض لبتوسبيروسيس في حيوانات مزرعة بالولايات المتحدة الأمريكية في الأربعينات من القرن الماضي ثم سجل وجوده بعد ذلك في أماكن كثيرة من العالم حيث يصيب غالباً الأبقار والخنازير وتسرى الإصابة إلى الإنسان من بول تلك الحيوانات. كما عرف بعد ذلك مرضاً من طراز مشابه في الكلاب يتسبب عن ميكروب *Leptospira canicola* والمرض قد يسمى " تيفوس الكلاب canine typhus ". أما اللبتوسبيروسيس في الماشية والخنازير والخيول فينتسبب عن ميكروب *L. pomona* وقد يتسبب اللبتوسبيروسيس في الإجهاض abortion في الماشية أو الخنازير وفقدان الحيوانات الصغيرة وبالغلة بالوفاة ، وفقدان إنتاج اللحم بسبب إعاقة النمو ، وفقدان اللبن نتيجة

لنقص الإدرار ومن مصادر عدوى الإنسان بمرض لبتوسبيروسيس -
الأغذية الملوثة بفضلات القوارض وبول الكلاب أو الحيوانات المصابة.

2. Aerobic-microaerophilic motile helical vibroid

يضم هذا الجزء عصويات منحنية ، حلزونية ليس بها إلتواءات ،
كما أن ثباتها أو إحناءاتها قليلة ، وهي ذات جدر خلوية صلبة. يتراوح قطر
الخلية ما بين ٠.٢ إلى ١.٧ ميكرون ، ويصل طول الحلزون ما بين ٠.٥
إلى ٦٠ ميكرون. تتحرك سابحة في إتجاهات مستقيمة بواسطة حركة بريمية
مميزة مثل حركة ثاقبة الفلين. وقد تمتلك فلاجلا واحدة قطبية أو حزمة من
الفلاجلات القطبية. قد توجد الفلاجلات على قطب واحد أو على القطبين.
بعض الأنواع هوائية حتماً والبعض الآخر شحيح التهوية إجباراً حيث يحتاج
الأوكسجين كمستقبل نهائي للإلكترون. البعض أيضاً لاهوائى لكن في مقدوره
أن ينمو أيضاً تحت ظروف شحيحة التهوية.

الأفراد كيمولورجانونوتروفيه ، ليس عندها المقدرة على تخمير
الكربوهيدرات ، ولو أن أنواعاً قليلة يمكنها أكسدة بعض المواد. موجبات
لإختبار الأكسيديز ، سالبات لإختبار الأندول. البعض ينتج صبغة خضراء
مصفرة ذائبة في الماء فلوريسنتية. البعض ينمو في بيئة بسيطة من أملاح
معدنية تحتوى على مصدر كربوني وحيد وكبريتات أمونيوم ، على حين
يتطلب البعض الآخر بيئة معقدة تعتمد على وجود البيبتون. تعيش بعض
الأنواع حرة في المياه العذبة وفي الأوساط البحرية. البعض الآخر يعيش
مترماً أو متطفلاً. بعض الأنواع ممرضات.

صنفت البكتيريات في هذا الجزء part تحت مجموعتين :

الأولى : وهي عائلة Spirillaceae وتضم جنسين فقط هما :

Genus *Spirillum* - ١

٢- Genus *Campylobacter*

الثانية : وهي أجناسا غير محددة النسب Genera of Uncertain Affiliation

وتضم أربعة أجناس هي - *Bdellovibrio* - *Pelosigna* - *Microcylus* - *Brachyarchus*

أما جنس *Spirillum* فيضم مجموعة كبيرة من الأنواع غالبيتها رميات saprophytes ومنها ما يعيش في التربة ويقوم بتثبيت النيتروجين الجوى ، والقلة من أفراد الجنس ممرضات مثل *Spirillum minor* والذي يسبب للإنسان طرزا من حمى عضه الفار rat bite fever. ممكن أن ينتقل الميكروب إلى الفئران mice ، الجرذان rats ، خنازير غينيا guinea pigs والقروود monkeys. ويبدو أنه طفيل طبيعي فى الجرذان والتي تعمل كحوامل (ناقلات) سليمة له. وبسبب إنتشاره للواسع ، فإن هذا الميكروب قد وصف بواسطة إختصاصيين فى مجالات مختلفة تحت أسماء مختلفة. يتواجد فى دم الجرذان rats والفئران mice.

أما جنس *Campylobacter* فيضم مجموعة قليلة من الأنواع (غالبا ثلاثة) هي :

١- *Campylobacter fetus* ويحتوى على ثلاثة تحت نوع هي :

C. fetus subsp. fetus

C. fetus subsp. intestinalis

C. fetus subsp. jejuni

٢- *Campylobacter sputorum* ويحتوى على تحت نوع

٣- *Campylobacter faecalis* ويحتوى على ثلاثة تحت نوع

ويعتبر الميكروب *C. fetus subsp. fetus* أحد أسباب الإجهاض abortion وعدم الخصوبة infertility في المواشي ، وينتقل جنسيا ويوجد في المخاط المهبل للأبقار المصابة ، في السائل المنوي والقلقة prepuce للعجول وفي مشيمة وأنسجة الأجنة البقرية المجهضة. ممرض للماشية ، خنازير غينيا، حيوانات الهامستر hamsters وبيض الدجاج نو الأجنة. غير ممرض للآرانب ، الفئران ، الجرذان عند حقنها بداخل البريتون. لا يتكاثر في الجهاز المعوي للإنسان والحيوانات أما الميكروب *C. fetus subsp. intestinalis* فيسبب الإجهاض في الأغنام ولحد ما في المواشي ، كما يسبب إصابات في الإنسان ولو أنها قليلة جدا إلا أنه وجد في حالات تسمم دموي septicemia ، التهاب السحايا meningitis ، enteritis ، septic arthritis ، jaundice في الإنسان. عزل هذا الميكروب من المحتويات المشيمية والمعدية للأجنة من الأغنام والماشية المجهضة ، ومن الدم ، المحتويات المعوية والصفراء للنعاج ewes ، الماشية والإنسان. ينمو هذا الميكروب في الجهاز المعوي وفي الحويصلة الصفراء للإنسان والحيوانات أما *C. fetus subsp. jejuni* فقد عزل من مشيمات ومحتويات المعدة لأجنة الأغنام المجهضة. أيضا يوجد بصورة طبيعية في المسلك المعوي للخنازير ، الماشية ، الأغنام ، الماعز ، الكتاكيت ، الديوك الرومي والطيور البرية. يسبب هذا الميكروب المرض للإنسان ، ينتقل عن طريق الفم ، يمكنه النمو في الجهاز المعوي للإنسان والحيوانات. وتجدر الإشارة إلى أن كلا السلالتين اللتين تصيبان الإنسان تقاوما البنسيلين ، بوليمكسين B ، والباستراسين ، لكنهما حساستان للكنداميسين gentamycin ، streptomycin ، tetracycline ، clindamycin والـ erythromycin.

يحتوى جنس *Bdellovibrio* على ميكروبات هامة زراعيًا مثل ميكروب *B. bacteriovorus* وهو متحرك عن طريق فلاجلات طرفية قطبية وحيدة ، يعيش فى فترة من حياته إجبارياً كطفيل داخل الخلايا البكتيرية للأنواع الأخرى ، ويعتبر ذلك ضرورياً لى ينمو ويتكاثر. ويتواجد الميكروب بكثرة فى المياه والأراضى الزراعية والسماد حيث تتواجد أعداد غزيرة من البكتيريات السالبة لجرام. ولقد عزل كثيراً من الحمأة النشطة activated sludge حيث توجد أعداداً كبيرة من بكتيريات القولون. وظاهرة تطفله داخل الخلايا البكتيرية تشبه لحد ما ظاهرة التحلل الفاجى للخلايا البكتيرية مع بعض الاختلافات أما النوع *Bdellovibrio stolpii* فله مجال عوائلى يماثل المجال العوائلى للنوع *Bdellovibrio bacteriovorus* ويختلف الإثنان فى أن الأول تطفلى إختيارياً facultatively parasitic على عكس الأخير فكثير من سلالاته تطفليه إجبارياً obligately parasitic. وأى خلية من النوع الإختيارى يمكنها تكمله دورة حياتها إما تطفلياً بداخل خلية بكتيرية عائلة ، أو ترممياً على وسط غذائى معقد. ويتميز النوع الميكروبي *Bdellovibrio starrii* بأن مجاله العوائلى يقتصر على السيديمونادات pseudomonads. وبصفة عامة فإن أفراد هذا الجنس والتى لها صفة (خاصية) الإفتراس ، لها أهمية زراعية حيث تؤثر على الميزان الميكروبي فى الأرض والسماد البلدى.

3. Nonmotile (or rarely motile) Gram-negative curved bacteria

هى بكتيريا لها شكل منحنى curved بدرجات متفاوتة حيث يكون منحنى أو واوى أو حلقى أو حلزوني . وتنمو فقط فى وجود الأكسجين ، وهى غير ممرضة توجد عادة فى التربة الزراعية وفى المياه العذبة

والمالحة ، ومن أمثلة بكتيريا هذه المجموعة جنس Spirosoma وهو من ميكروبات التربة ، و جنس Microcylus الذى تميل خلاياه إلى التواجد فى حلقات عقب الإنقسام وقبل الانفصال كما يتميز بتكوين فقاعات غازية دائمة داخل خلاياه تساعد على الطفو فى الأوساط المائية التى تعيش فيها .

4. Gram negative aerobic microaerophilic rods and cocci

يدخل تحت هذا القسم خمسة عائلات هى :

Family 1 : Pseudomonadaceae

Family 2 : Azotobacteraceae

Family 3 : Rhizobiaceae

Family 4 : Methylomonadaceae

Family 5 : Halobacteriaceae

وكذلك عدد ستة أجناس غير محددة النسب genera of uncertain

affiliation وهى Alcaligenes, Acetobacter, Brucella, Bordetella,

Francisella, Thermus

أولا : عائلة Pseudomonadaceae : أفرادها عصويات مستقيمة أو منحنية، سالبات لجرام ، متحركة بواسطة فلاجلا طرفية من القطب ، كيمو اورجانوتروفية تحصل على طاقتها بالتنفس وليس أبدا بالتخمير ، هوائيات حتماً ، موجبة لإختبار الكتاليز وكذلك الأوكسيديز. تستطيع النمو بنشاط فى نطاق حرارى واسع من ٤ °م حتى ٤٣ °م - أفراد العائلة لا تثبت النيتروجين - تشمل العائلة أربعة أجناس هى :

Genus 1 : *Pseudomonas*

الخلايا فردية ، عصويات مستقيمة أو منحنية ، أبعادها بصفة عامة ٠,٥-١ ميكرون عرضاً x ١,٥-٤ ميكرون طولاً. كيمولورجانوتروفات ، الأيض تنفسى وليس أبدا تخمري. بعض الأفراد كيموليثوتروفات إختياراً

قادرة على استعمال H_2 أو CO كمصدر للطاقة. الأوكسجين الجزيئى هو المستقبل العام للإلكترون ، البعض يمكنه أن يختزل النترات إلى نيتروجين عنصرى. هوائيات حتماً ، بإستثناء الأنواع التى تستخدم عملية الدنترة denitrification كاسلوب للتنفس اللاهوائى. موجبات لإختبار الكتاليز النوع المثالى للجنس هو *Pseudomonas aeruginosa*. أفراد الجنس تعيش بكثرة فى التربة وفى المياه العذبة والأوساط البحرية وعلى النباتات ، وتصل إلى الغذاء بأنواعه المختلفة وتفرز صبغات فلوريسنتيه قابلة للذوبان أو للانتشار فى وسط النمو. البعض يصيب النباتات ويسبب لها أمراضاً نباتية فى غاية الأهمية مثل *P. solanacearum* ويسبب مرض الذبول البكتيرى الجنوبى لكثير من النباتات التابعة للعائلة الباننجانية Solanacea خاصة البطاطس ، الطماطم ، *P. phaseolicola* ويسبب الفحة الهالية فى الفاصوليا ، *P. syringae* ويسبب مرض البقعة البنية البكتيرية فى الفاصوليا.

Genus 2 : *Xanthomonas*

أفراده عبارة عن عصويات مستقيمة straight rods ، الخلايا مفردة وذات أبعاد ٠,٨-٠,٢ ميكرون عرضاً x ٠,٦-٢,٠ ميكرون طولاً ، متحركة بوساطة فلاجيلا وحيدة قطبية ، سالبات لجرام ، نموها على بيئات الآجار عادة أصفر اللون. تحصل على طاقتها دائماً بالتنفس وليس أبداً بالتخمير ، ويعمل الأوكسجين الجزيئى كمستقبل للإلكترون ، إختبار الأكسيديز سالباً أو ضعيفاً أما الكتاليز فيكون موجباً.

أفراد الجنس تعيش فى التربة ، وغالباً تصيب النباتات وتسبب لها أمراضاً خطيرة - خاصة وأن لها القدرة على إفراز إنزيمات تحليل المواد البكتينية. هوائيات إجباراً ، درجة الحرارة المثلى لها ٢٥ - ٢٧ °م - النوع

المثالي type species للجنس هو *X. campestris* من الأمراض النباتية الخطيرة التي تتسبب عن أفراد هذا الجنس ما يلي :

١- *X. campestris* ويسبب مرض العفن الأسود Black rot في الصليبيات مثل *Raphanus spp.*, *Brassica spp.*

٢- *X. phaseoli* ويسبب مرض اللفة البكتيرية العادية في الفاصوليا common bacterial blight of bean

٣- *X. malvacearum* ويسبب مرض البقعة الزاوية في القطن Angular leaf spot of cotton

(*Z. ramigera*) والنوع المثالي لهذا الجنس هو ميكروب *Zoogloea* : Genus 3

والنوع المثالي لهذا الجنس هو ميكروب *Gluconobacter* : Genus 4 (*G. oxydans*)

ثانياً : عائلة *Azotobacteraceae* : تشمل العائلة أفراداً مستنيرة أو بيضية أو عصوية الشكل. بعض الخلايا توجد فرادى أو في أزواج ، والبعض يكون مواداً مخاطية تعمل كإغلفة capsules. تعيش أفراد العائلة أساساً في التربة حيث تقوم جميعاً بتثبيت النيتروجين الجوي العنصرى في وجود ١-٢ % كربوهيدرات بمعدل لا يقل عن ١٥ ملليجرام نيتروجين لكل ١٠ جم يستهلك من الكربوهيدرات ، كما تتواجد بعض الأفراد في المياه. لا تكون جراثيم داخلية endospores ولكن بعض الأنواع تكون طور سكون يسمى " حويصلة cyst " ، بعضها له القدرة على إنتاج صبغات غير ذائبة في الماء water-insoluble pigments تتراوح ألوانها ما بين الأصفر والبني الداكن مثل النوع *Azotobacter chroococcum* بينما ينتج البعض الآخر صبغات فلوريسنتية ذائبة water-soluble fluorescent pigments مثل النوع

Azotobacter vinelandii. وتحتوى العائلة على أربعة أجناس وهى

1- *Azotobacter* 2- *Azomonas* 3- *Beijerinckia* 4- *Derxia*

وتتلخص الخصائص المفتاحية key characteristics للفرقة بين أجناس

هذه العائلة فيما يلى :

Cell shape - Extracellular slime production - Growth rate -
Catalase reaction - Cyst formation - Presence of lipoidal granules
- DNA base ratio.

وعلى ذلك فإن تصنيف العائلة يكون على النحو التالى :

I- Large ovoid cells; most species produce extracellular slime.

Rapid growth; catalase positive.

A: Cysts formed; G + C 63-66 %. *Azotobacter*.

B: Cysts not formed; G + C 53-59 %. *Azomonas*

II. Small rods producing very tenacious extra cellular slime or gum, and conspicuous internal globular lipoid bodies. Slow growth; catalase may or may not be produced.

A: Lipoid bodies bipolar; G + C 55-59 % catalase positive. *Beijerinckia*.

B: Lipoid bodies numerous; G + C 70 %. *Derxia*.

ويعتبر جنس *Azotobacter* هو الجنس المثالى type genus للعائلة.

ويختلف جنس *Beijerinckia* مورفولوجيا عن الأزوتوباكتر فى أن خلايا الأخير أطول وتحتوى على أجسام دهنية من مادة بولى هيدروكسى بيوتارات (PHB) لامعة فى طرفى الخلية وأيضاً بكثرة إفراز أفراد هذا الجنس (بايرنكيا) للمواد المخاطية فى بيئات الزرع ، وهذه الخاصية تعطى المجاميع البكتيرية قواماً لزجاً. كما تتحمل أفرادها نطاقاً واسعاً من الحموضة (pH ٣,٥ – ٩,٠) ،

كما أن إنتشار أفرادها يكون قاصراً على الأراضي الحامضية والمناطق الإستوائية ، وتتميز أفرادها أيضاً بعدم إحتياجها للكالسيوم الذي يثبط نموها.

ثالثاً : عائلة Rhizobiaceae : عادة تكون خلايا أفرادها عصوية ، متحركة بواسطة فلاجيلا طرفية قطبية أو تحت قطبية والبعض يتحرك بواسطة ٢-٦ فلاجيلات محيطية. يمكنها إستخدام الكثير من الكربوهيدرات مع إفراز مواد لزجة خارج الخلية أثناء نموها. وتضم هذه العائلة أربعة أجناس ، إثنان منهم تقوم أفرادهم بعملية تثبيت النيتروجين الجوى تكافلياً فى العقد الجذرية لنباتات العائلة البقولية Leguminosae ، والجنسان هما : *Bradyrhizobium* ، أما مجموعة الترمس lupine group فيتخصص معها النوع *Rhizobium* البكتيرى *Bradyrhizobium lupini* وهكذا ..

والجنس الثالث بالعائلة هو *Agrobacterium* وأفرادها لا تكون عقداً على جذور البقوليات ، ولكنها تسبب تكون نموات غير عادية فى كثير من النباتات ، ولا تثبت النيتروجين الجوى. وأفراد الجنس تعيش فى التربة الزراعية وبعضها يصيب النباتات مسبباً لها أمراضاً بشكل تورمات أو إنتفاخات كبيرة والأنواع التالية أمثلة لها :

Agrobacterium tumefaciens ويسبب مرض التدرن التاجى crown
Agrobacterium rhizogenes galls ويسبب مرض الجذر الشعرى hairy
root أو woolly root وهو عبارة عن زيادة فى تكوين جذور ليفية عرضية
أما النوع *Agrobacterium radiobacter* فقد يستخدم فى مكافحة مرض
التدرن التاجى الذى يسببه النوع الأول وذلك بسبب قدرة هذا الميكروب على
إفراز توكسين خارجى يسمى bacteriocin يوقف نشاط *A. tumefaciens*
وهذا يعتبر لونا من ألوان المكافحة الحيوية (البيولوجية) (biocontrol)
.biological control

والجنس الرابع في هذه العائلة هو *Phyllobacterium* وتكون أفراده عقداً على أوراق بعض النباتات التابعة لعائتي *Myrsinaceae* , *Rubiaceae*.

رابعاً : عائلة *Methylomonadaceae* : تشمل جنسان أحدهما تكون أفراده ذات خلايا كروية وهو *Methylococcus* والثاني تكون أفراده عصويات وهو *Methylomonas*. جميع أفراد العائلة كيمو أورجانونوتروفية لها المقدرة على أكسدة الميثان أو الميثايل مستخدمة الأوكسجين الجوي كمستقبل أخير للإلكترون. وتنتشر بكثرة في التربة و الأوساط المائية ، وتشارك الميكروبات المنتجة للميثان *methane producers* في دورة الكربون في الطبيعة حيث تقوم الأولى باكسدة الميثان فتتيح التخلص من أضراره.

خامساً : عائلة *Halobacteriaceae* : تضم العائلة جنسين ، هما : *Halobacterium* وأفراده عصويات ، *Halococcus* وأفراده كرويات. والخلايا تحتوي على صبغات ملونة كاروتينية تتراوح من الأحمر ، القرنفلي، البرتقالي المحمر. وتحتاج لنموها تركيزات عالية من الملح (ص كل NaCl) لا تقل عن ٢ مول (أي ١٢ %) فهي محبات للملوحة *halophilic* حتماً. وتتواجد في الملاحات والأوساط المائية المالحة ، وعندما تصل إلى الغذاء *food* تنتج صبغات وتسبب تلون الأغذية المحتوية على نسبة عالية من الملح ، كالسمك المملح ، ومن أمثلة هذه الميكروبات *Halobacterium salinarium*.

أما الأجناس غير محددة النسب في هذا القسم (part 4) فتشمل :

Genus 1 : *Alcaligenes*

خلايا عصوية ، عصويات مكورة *coccal rods* أو كرويات ، تتواجد عادة مفردة. كيمو أورجانونوتروفات تحصل كل طاقتها بالتنفس وليس

بالتخمير. أفراد الجنس شائعة أغلبها مترممات ومنها ما يستوطن الجهاز المعوى للفقاريات ، تتواجد في منتجات الألبان والبيض المتحلل ، وغيره من الأغذية وفي المياه العذبة وكذلك الأوساط البحرية والترابية. تسبب حالة من القلوية في البيئات التي تنمو عليها ، وبصفة خاصة اللبن مثل النوع *Alcaligenes viscolactis* مسببه حالة لزوجة في اللبن أيضاً ومصدر الميكروب *A. viscolactis* هو السماد العضوى ، الأرض ، العلف والماء. وعلى أية حال ، فإن أفراد الجنس رميات غير ضارة ، قد تلوث في بعض الأحيان محاليل الشرب أو الحقن الوريدي. ومن ثم فإنها قد تؤدي إلى بعض حالات من التسمم عقب العمليات الجراحية *postoperative septicemia* وكذلك عدوى الجهاز البولى.

Genus 2 : *Acetobacter*

الخلايا إهليجية ellipsoidal إلى عصوية الشكل مستقيمة أو منحنية قليلاً ، تتواجد فرادى أو أزواج أو فى سلاسل. تؤكسد الإيثانول إلى حمض خليك ولذلك تستخدم فى إنتاج الخل vinegar على المستوى الصناعى ، ولكنها إذا وصلت للمشروبات الكحولية alcoholic beverages تضر بها. تتواجد هذه البكتيريا على الفواكة والخضروات والثمار الحامضة souring fruits ، العصائر juices ، الخل ، المشروبات الكحولية.

أفراد الجنس تؤكسد الإيثانول إلى حمض خليك فى الظروف المتعادلة أو الحامضية (pH 4.5) ، وهناك البعض الذى يؤكسد الخلطات واللاكتات إلى ك₂ + يد₂ - وهذه تسمى overoxidiers . ومن الأنواع التى تتبع الجنس *A. aceti* وهو النوع المثالى type species للجنس . وهناك أيضاً النوع *A. diazotrophicus* وهو مكتشف حديثاً ، له القدرة على تثبيت النيتروجين الجوى وتحمل الحموضة ، وينمو على بيئات بسيطة من أملاح

معدنية ، كما أن هذا النوع ذو كفاءة عالية في إنتاج حمض الجلوكونيك ،
ويستخدم الآن على مستوى تجارب لهذا الغرض.

Genus 3 : *Brucella*

خلايا عصويات مكورة coccobacilli أو عصويات قصيرة ذات
أبعاد $0.5-0.7 \times 0.6-1.0$ ميكرون ، تتواجد فرادى ونادراً في سلاسل
قصيرة ، لا تكون كبسول capsule غير متحركة ، لا تكون جراثيم داخلية ،
سالبات لجرام ، لا تظهر بها مناطق صبغية بالقطبين bipolar staining .
كيمو اورجانونوتروفي تحصل على طاقتها بالتنفس ، تحتاج لنموها إلى
الفيتامينات ثيامين ، نياسين ، وبيوتين أما بانتوثينات الكالسيوم فتشجع النمو .
أما الهيمين hemin (X factor) و coenzyme I (V factor) فلا تلتزمها .
أفراد الجنس موجبات للكتاليز . الأكسيدز عادة موجب ولكن *B. ovis* , *B. melitensis*
neotomae فسالبات للأكسيدز . ممرضات وطفيليات للثدييات - داخل خلوية
إختياراً مع مجال عوائل واسع نسبياً . النوع المثالي للجنس type species هو
Brucella melitensis . أفراد الجنس تسبب مرض البروسيللوسيس
Brucellosis الذي يعرف أيضاً بالحمى المتقطعة ، حمى مالطة (الحمى
المالطية) ، الحمى المتموجة undulant fever والأفراد المسببة لها هي :
١- *Brucella melitensis* : عادة ممرضه للماعز goats والأغنام sheep ،
لكن يمكنها أن تصيب الماشية والإنسان .

٢- *Brucella abortus* : عادة ممرض للماشية مسببة لها الإجهاض لكنها
تستطيع أيضاً إصابة أحياء أخرى بما فيها الإنسان .

٣- *Brucella suis* : عادة ممرضه للخنازير pigs لكنها أيضاً تستطيع
إصابة الأرانب البرية hares وحيوان الرنة reindeer كما تصيب أنواعاً
أخرى من الأحياء بما فيها الإنسان .

٤ - *Brucella neotomae* : عزل من فار الخشب الصحراوي.
٥ - *Brucella ovis* : ممرض للأغنام حيث يسبب لها حالة إلتهاب البربخ epididymitis في الأكباش rams وتسبب أحيانا الإجهاض abortion للنعاج ewes.

٦ - *Brucella canis* : وهو ممرض للكلاب مسببا حالة إلتهاب البربخ epididymitis وكذلك الإجهاض.

ومن العرض السابق يتضح أن الأنواع الثلاثة *B. melitensis*, *B. suis*, *B. abortus* ممرضة أيضا للإنسان.

ولما كانت الحيوانات هي العوائل الأولية لهذا الكائن الممرض ، فإن إصابة الإنسان بمرض البروسيللوسيس تكاد تكون على الدوام من ملامسة حيوانات مصابة أو إستخدام لبن أو غيره من منتجات لبنية من تلك الحيوانات. ولا توجد طريقة مفيدة لإنتاج مناعة صناعية ناشطة لمرض البروسيللوسيس في الإنسان.

ومن الجدير بالذكر ، أنه لا يظهر على الماشية المصابة نفسها أى مرض غير شىء من الهزال ، ولكن الإنسان إذا شرب لبنها بدون تعقيمه بالغلى أو البستره يصاب بالمرض. وقد تحدث العدوى كذلك من تلوث الطعام والشراب ببول المصابين أو حاملى لعدوى إذ أن الميكروب قد يوجد فى بولهم. وقد تحدث العدوى بواسطة دخول الميكروب عن طريق الجلد أو بواسطة الجروح أو الأغشية المخاطية كما يحدث أحيانا للأطباء والبكتيريولوجيون الذين يشتغلون بهذا الميكروب فى المعمل. كما أن العدوى قد تحدث كذلك بواسطة إستنشاق غبار ملوث ببول مريض أو غير ذلك. وعلى ذلك ، فإن مرض الحمى المتموجة undulant fever قد يمكن العدوى به بالطعام والشراب والملامسة وعن طريق التنفس بالغبار الملوث.

Genus 4 : *Bordetella*

خلايا عصوية مكورة دقيقة minute coccobacilli أبعادها ٠,٢-٠,٣ ميكرون عرضاً ، ٠,٥-١,٠ ميكرون طولاً ، تتواجد فرادى أو فى أزواج ونادراً جداً فى سلاسل. غير متحرك أو متحرك بواسطة فلاجلات جانبية عديدة. سالبات لجرام ثنائية القطب bipolar. تظهر مستعمراتها على بيئة لجار البطاطس والجليسرول والدّم - ناعمة ، محدبة ، كمثرية الشكل لامعة شفافة تقريباً ومحاطة بمنطقة تحلل دموى zone of hemolysis لكن بدون حافة محددة.

أفراد الجنس كيمو أورجانونوتروفيّة تحصل كل طاقتها بالتنفس وليس أبدأ بالتخمير ، تحتوى على الكتاليز ، سالبة لإختبار الإندول ، لا تسيل الجيلاتين ، تجعل لبن عباد الشمس قلوياً. تحتاج إلى حمض النيكوتين ، السيستئين والميثونين. لا تحتاج إلى الهيمين (X factor) hemin ولا إلى (V factor) coenzyme I هوائيات حتماً. درجة الحرارة المثلى لها ٣٥-٣٧ م تعتبر طفليّات وممرضات بالجهاز التنفسيّ للثدييات حيث تسبب مرض السعال الديكى whooping cough (*Bordetella pertussis*) أو مرضاً شبيهاً به whooping cough-like disease (*Bordetella parapertussis*) فى الإنسان. وأحد الأنواع مثل *Bordetella bronchiseptica* يسبب مرض التهاب شعبيّ رئوى bronchopneumonia فى الكلاب ، خنازير غينيا ، وأنواعاً حيوانية أخرى. وهذا النوع الأخير - أحياناً - قد يصيب الإنسان أيضاً. ويسبب هذا النوع فى الكليات canines (الكلاب ، الثعالب) أمراضاً مثل kennel cough ، pneumonitis ، وذلك من خلال توطنه فى المسالك التنفسية لها.

النوع المثالى type species للجنس هو *Bordetella pertussis* مسبب مرض السعال الديكى الذى يعتبر من اشد الأمراض المعدية خطورة على حياة الأطفال وخصوصاً الرضع منهم. وهو يصيب الجهاز التنفسى ويتميز عن غيره من أنواع السعال الأخرى بتكرار نوبات السعال الزفيرية المتعاقبة التى تنتهى فى أغلب الأحيان بشهيق شديد يحدث صوتاً عالياً مثل صياح الديك. ومن المعروف أن الميكروب ينتشر فى الجو من رذاذ الطفل المريض عندما يسعل أو يعطس ، كما أنه يوجد بكثرة فى لعاب الطفل وفى المخاط الذى يخرج من الصدر عقب السعال وخاصة فى الأسبوع الأول من المرض ، وهى المدة التى لا يكون المرض فيها قد عرف بعد. وينتشر هذا المرض فى الشتاء والربيع. ويختلف هذا المرض عن الأمراض المعدية infectious diseases الأخرى فى أنه يصيب الرضع الذين تقل أعمارهم عن ستة شهور ولكنه نادراً ما يصيب البالغين أما الشيوخ (كبار السن) فقد يصابون بهذا المرض.

Genus 5 : *Francisella*

عصويات صغيرة جداً مكورة إلى إهليجية متغيرة الشكل بدرجة كبيرة very pleomorphic يظهر بها فى الغالب منطقتين قطبيتين للصبغ bipolar staining عند إتباع تكتيكات معينة ، غير متحركة ، سالبات لجرام، توجد كثيراً فى المياه الطبيعية ، وقد تكون متطفلة على الإنسان ، الثدييات الأخرى ، الطيور ، ومفصليات الأرجل. النوع المثالى للجنس هو *Francisella tularensis* وهو مسبب مرض التولاريميا tularemia فى الإنسان وكثير من الحيوانات نوات الدم الحار الأخرى. وينتقل الميكروب بواسطة مفصليات الأرجل ماصة الدم blood-sucking arthropods ،

الإستشاق ، البلع ، الملامسة. وتعتبر الطريقة الأخيرة للعدوى نادرة جداً بين بنى البشر ، لكن الشائع هو عدوى الإنسان بملامسة الحيوانات. ومرض الثيولاريميا مثل الطاعون plague ، فى الأساس يعد مرضاً يصيب الحيوانات البرية (غالباً الأرانب و ground squirrels) تنتقل من حيوان لحيوان عبر ناقلات متنوعة من مفصليات الأرجل مثل الذباب ، البراغيث ، القمل ، القراد - والأخيرة أكثرها أهمية. ولما كانت الأرانب تمثل المصدر الرئيسى لإصابة الإنسان بهذا المرض ، فإن هذه الظاهرة المرضية تسمى فى معظم الأحيان " حمى الأرانب rabbit fever " .

Genus 6 : *Thermus*

أفراد الجنس تتوطن بالأماكن المائية عالية الحرارة سواء الطبيعية مثل الينابيع المائية الساخنة أو المقامة بفعل الإنسان مثل تانكات المياه الساخنة ، النوع المثالى للجنس هو *Thermus aquaticus* يدخل تحت هذا القسم أيضاً البكتيريا الكروية والعصويات الكروية ، السالبات لجرام ما يلي :

I : Family Neisseriaceae

وتضم أربعة أجناس هي :

Neisseria, Branhamella, Moraxella, Acinetobacter

II : Genera of Uncertain Affiliation

وهما إثنان : *Lampropedia , Paracoccus*

بخصوص العائلة ، فتضم كائنات مستديرة spheres فى أزواج أو تكتلات تتفلطح (تستوى) flatten جوانب إتصال الخلايا ببعضها ، وأحياناً تبدو عصويات الشكل فى أزواج أو سلاسل قصيرة. ليس لها فلاجلات ،

بعض الأنواع تبدى نوعاً من الحركة الارتعاشية twitching motility ، سالبات لجرام ، بعض الأنواع تكون صبغة الزانثوفيل ، بعض الأنواع يلزمها متطلبات نمو معقدة عند إجراء تنميتها عقب عزلها مباشرة ثم لا تلبث بعد فترة أن تنمو على بيئات محددة بسيطة. البعض ينتج إنزيمات الكتاليز والسيتوكروم أكسيديز. هوائيات ، درجة الحرارة المثلى ٣٢-٣٧ °م .
الأجناس : *Moraxella, Branhamella, Neisseria* عبارة عن بكتيريا طفيلية parasitic أما الجنس الرابع وهو *Acinetobacter* فأفراده إما مترمحات saprophytes أو ممرضات فرسية opportunistic pathogens

Genus 1 : *Neisseria*

أفراد الجنس كرويات cocci تتراوح أقطارها من ٠,٦ إلى ١,٠ ميكرون ، تتواجد عادة مفردة وغالباً في أزواج تتسطح (تتفلطح) flatten جوانب إتصال الخلايا ببعضها. تتكاثر بالإنقسام الثنائي في مستويين متعامدين بزاوية حادة ، وبذلك ينشأ التجمع على هيئة أربعيات tetrads. تحتاج هذه البكتيريا متطلبات نمو معقدة ، بعض الأنواع محلبة للدم hemolytic ، كيمو أورجانونوتروفيه يمكنها الاستفادة من قلة من الكربوهيدرات. تنتج إنزيم الكتاليز والسيتوكروم أوكسيديز. طفيليات على الأغشية المخاطية في الثدييات mammals

النوع المثالى type species للجنس هو ميكروب *Neisseria gonorrhoeae* وإسمه الدارج gonococcus ، وهو مسبب مرض السيلان gonorrhoea. وينتقل المرض أساساً عن طريق الإتصال الجنسي sexual intercourse بشخص مصاب. كما ينتقل المرض عن طريق الإتصال الجنسي الشاذ perverted sexual act (فى منطقة الشرج) سواء كان بين رجل ورجل أو كان بين رجل وإمرأة وهو ما يؤدي فيما بعد إلى التهابات المستقيم والقناة

الشرجية السيلاني gonorrheal proctitis. كما قد تدخل الجونوكوكات gonococci إلى الشرج rectum عبر الإفرازات القيحية purulent secretions التي تنساب من الشق الفرجي pudental cleft للنساء والبنات المصابات. وقد ينتقل المرض كذلك عن طريق استخدام ترمومترات ملوثة بالميكروب سواء بعوضها في منطقة الشرج أو في الفم. كما تنتقل العدوى كذلك إلى الأطفال عن طريق استخدام فوط وأحوات الحمام الملوثة بالميكروب أثناء من أشخاص مصابين. وتنتقل العدوى إلى الأطفال للرضع حديثي الولادة عن طريق إصابتهم بالميكروب الولادة من مجرى قناة الولادة من أمهات مصابة.

وفترة الحضانة (وهي التي تمضي منذ الإصابة بالميكروب وحتى ظهور الأعراض) تتراوح بين ١-١٥ يوم. ويتم تشخيص المرض عن طريق أخذ عينات من إفرازات قناة مجرى البول الخارجية seminal vesicles, prostate, urethra للذكور. وكذلك من rectum, cervical canal, urethra ومن غدد مدخل المهبل في النساء. كما تؤخذ عينات من المهبل ، قناة مجرى البول rectum, urethra في البنات. وتزرع العينات على بيئات مناسبة ، ثم يجري فحص المزارع الناتجة عن طريق التحضيرات الميكروسكوبية. كما يمكن التأكد من تشخيص هذا الميكروب عن طريق الاختبارات السيرولوجية serological (Bordet-Gengou phenomenon) tests أيضاً هناك اختبار الحساسية بالجلد skin-allergic test بالفاكسين gonococcal vaccine. ولا بد من مراعاة أن كلا من الاختبارات السيرولوجية واختبار الحساسية ما هي إلا عوامل مساعدة في التشخيص لكنها في حد ذاتها لا تصلح كدليل على الإصابة بالميكروب.

ومن أعراض السيلان عند الرجال التهاب حاد لقناة مجرى البول الخارجية acute arethritis حيث يشعر المريض بحرقان أثناء التبول ، كما

بلاحظ ظهور إفرازات صديدية تخرج من قناة مجرى البول الخارجية ، وقد تترك أثراً على ملابسه الداخلية ، وفي بعض الأحيان قد تظهر قطرات من الدم في نهاية التبول . وتمتد الإلتهابات لتشمل الغدد المجاورة بقناة مجرى البول الخارجية مثل غدد tyson ، cowper . كما تمتد أيضاً الإلتهابات لتشمل غدة وقناة البروستاتا ، وقد ينتهي الأمر بحدوث خراجات صديدية بالبروستاتا prostatic abscesses مما يؤدي إلى زيادة الصعوبة أثناء التبول dysuric disorders والشعور بالألام في منطقة العانة والشرج. كما قد يمتد الإلتهاب ليشمل الحويصلات المنوية seminal vesicles وقنواتها وكذلك البربخ (إلتهاب البربخ) epididymitis

وهناك النوع *Neisseria meningitides* واسمه الدارج meningococcus وهو مسبب مرض إلتهاب السحايا اللوبائي epidemic meningitis أي إلتهاب السحايا meninges . ويوجد الميكروب في البداية في السائل المخ شوكي cerebrospinal fluid مسبباً حالة " الحمى المخ شوكية الوبائية epidemic cerebrospinal fever " . كما يوجد الميكروب أيضاً في البلعوم الأنفي nasopharynx ، الدم ، الملتحمة ، في المفاصل وبثرات في الجلد. أحياناً ، يوجد في الإفرازات التناسلية venereal discharges ولقد وجد أيضاً في البلعوم الأنفي للإنسان (من الحاملين للمرض الأصحاء). ويمكن تعيين سبعة أنتيجينات antigens تخصصية هي A, B, C, D, X, Y, Z للتمييز بين السلالات المختلفة من *N. meningitides*.

وعادة يكون الميكروب *Neisseria meningitidis* مصحوباً بالحالة الوبائية المسماة epidemic cerebrospinal meningitis . ومن العوامل الهامة في الإجتياح المنجوكوكي meningococcal invasiveness ما يلي : السكريات العديدة بالكبسول ، البيليات ، IgA protease . ولو أن هناك تسعة

سلالات تم التعرف عليها وتختلف فيما بينها من حيث التركيب الأنتيجيني للكبسول ، فإن الطرز السيرولوجية A, B, C تعد مسئولة عن معظم حالات الإصابة التي عرفت. وهناك عامل ضراوه آخر ، له تأثيرات باثولوجية فعالة، وهو السكريات العديدة الدهنية lipopolysaccharide (endotoxin) التي تتحرر من الجدار الخلوى.

Epidemiology and Pathogenesis of Meningococcal Disease

تأخذ أمراض الميكروب *Neisseria meningitides* فى حدوثها طابع الوباء epidemic أو الحالات الفردية sporadic فى أواخر فصل الشتاء أو أوائل فصل الربيع. والخازن المستمر للعدوى هو الإنسان الذى يأوى المسبب المرضى فى البلعوم الأنفى nasopharynx. وحمل الميكروب بهذه الصفة والتي قد يستمر فيها من أيام قليلة إلى شهور عدة ، توجد فى ٣-١٠ % من سكان المدن البالغين ، وقد تزيد عن ٩٥ % فى الدوائر العسكرية. وينتشر المرض بانتقال المسبب المرضى من الحاملين له إلى الأفراد غير المنيعين بداخل أفراد العائلة أو التكتلات العسكرية. ومن أكثر المعرضين للإصابة الأطفال الصغار فى عمر ٦-٢٤ شهراً والأطفال الأكبر والبالغين الصغار فى عمر ١٠-٢٠ سنة . ويعتبر الميكروب N. meningitides ثانى أكثر المسببات حدوثاً لحالة " الإلتهاب السحائى meningitis " فى الأطفال الصغار وذلك بعد الميكروب الآخر *Haemophilus influenzae*

ومن أشد المضاعفات خطورة للإصابة meningococcal pharyngitis هو حدوث الظاهرة المرضية المسماة " meningococemia " حيث تدخل المنتجوكوكات إلى الأوعية الدموية بسرعة وترشح إلى السحايا meninges وتنتج أعراض إلتهاب السحايا meningitis ، وهى الحالة

المالوفة كثيراً كمضاعفات في الأطفال ، وقد يتحول إلى مرض داهم ترتفع معه نسبة الوفيات ، وتتسم بداية المرض بالعنف مع الحمى حيث تصل درجة الحرارة إلى أعلى من ٤٠°م ، الإرتعاش أو القشعريرة chills ، هذيان الحمى delirium ، إنتشار شديد لحالات إزرقاق الدم ، صدمة ، غيبوبة. وقد يحدث تعميم للتجلط الداخلو عائي ، فشل القلب ، عطل بالغدد الكظرية adrenal glands والوفاة في خلال ساعات قليلة.

5. Gram negative facultatively anaerobic rods

أفراد هذا الجزء عصويات صغيرة سالبة لجرام ، متحركة أو غير متحركة ، بعضها يكون كبسول capsule ، كيمو اورجانونوتروفيه ، تحصل على طاقتها بالتنفس والبعض يحصل عليها بالتخمير. تنمو جيداً في البيئات الصناعية هوائياً ولا هوائياً إختياراً. البعض منها يتطلب لنموه متطلبات خاصة ، تنتج الحمض من تخمير الجلوكوز ، الكربوهيدرات الأخرى والكحولات وعادة تنتج غاز (aerogenic) والبعض لا ينتج الغاز (anaerogenic). يدخل تحت هذا الجزء عائلتين هما :

Family 1 : Enterobacteriaceae

Family 2 : Vibrionaceae

وتسعة أجناس غير محددة النسب genera of uncertain affiliation
أولاً : عائلة Enterobacteriaceae : أفرادها وثيقة الصلة بحياة الإنسان ، يمكنها تخمير كثير من السكريات مع إنتاج أحماض وغازات يدر ٢ ، ك ٢٠. أجناسها تتميز عن بعضها على أساس مجموعة من الصفات - من أهمها تخمير سكر اللاكتوز ، وتنوعية نواتج تخمير الجلوكوز. بعض أفرادها يعيش في القناة الهضمية للإنسان والحيوان دون أن تسبب أعراضاً مرضية إلا إذا كثرت في أعدادها ، كما أن البعض يسبب أمراضاً معوية خطيرة للإنسان

والحيوان ، ومنها ما يسبب أمراضاً للنبات - الأمر الذي يؤدي إلى خسارة اقتصادية ، ولو أن الكثير منها رميات. وتشمل العائلة على ١٢ جنساً مصنفة في خمسة قبائل tribes على النحو التالي :

Tribe 1 : Escherichieae

مثل أجناس *Escherichia* , *Edwardsiella* , *Citrobacter* ,

Salmonella , *Shigella*

Tribe 2 : Klebsielleae

مثل أجناس *Klebsiella* , *Enterobacter* , *Hafnia* , *Serratia*

Tribe 3 : Prioteeae : *Proteus* مثل جنس

Tribe 4 : Yersinieae : *Yersinia* مثل جنس

Tribe 5 : Erwinieae : *Erwinia* مثل جنس

ويمكن التفرقة بين أفراد العائلة أى بين الخمسة مجاميع الرئيسية (tribes) على ضوء الخصائص التصنيفية التالية :

Fermentation pattern - M.R. test - V.P. test - Phenylalanine deamination - Nitrate reduction - Urease. - Indole production - Lactose fermentation - Growth in KCN - Optimal temp. for growth
وفيما يلي ملخصاً عن أجناس العائلة :

Genus 1 : *Escherichia*

هو أكثر الأجناس دراسة وأفراده لها نشاط أيضي كبير ولكنها لا تكون مركب الأسيتوين (a.m.c.) ولا تستطيع إستعمال حمض اليوريك كمصدر وحيد للنيتروجين ولا السترات كمصدر وحيد للكربون ، وتتواجد في الأمعاء الغليظة للإنسان ، وتعزل من البراز ومياه المجارى ، وعندما تتواجد في الأمعاء بأعداد كبيرة تسبب حالات مرضية مثل أمراض البواسير والناسور ،

وعندما تغزو المثانة تسبب التهاباً فيها (cystitis) وكذلك فى حوض الكلية pyelitis. النوع المثالى type species للجنس هو ميكروب *E. coli*.

Genus 2 : *Edwardsiella*

يتوطن فى أمعاء الثعابين والنوع المثالى هو *E. tarda* بصفة طبيعية، ولقد عزل من براز الإنسان الذى يعانى من إسهال وكذلك من دم وبول الإنسان والحيوان ، وقد يوجد فى المياه.

Genus 3 : *Citrobacter*

Genus 4 : *Salmonella*

ويضم هذا الجنس مسببات الحمى التيفوذية (S typhoid fever) والباراتيفوذية (S. typhi) والباراتيفوذية (S. paratyphi) paratyphoid fever ومسببات العدوى الغذائية food infections من السالمونيلا *salmonellae* ويطلق على هذه العدوى سالمونيلاوسيس Salmonellosis وتنشأ عن :

S. typhimurium or *S. enteritidis*

Genus 5 : *Shigella* :

وأفراد هذا الجنس تسبب مرض الدوسنتاريا الباسيلية bacillary dysentery (*S. boydii* , *S. sonnei* , *S. flexneri* , *S. dysenteriae*) والذى يسمى أحياناً بالشيغيللوسيس shigellosis. مرض السالمونيلاوسيس salmonellosis يعتبر من أهم أعراض العدوى الغذائية البكتيرية حيث تحدث الإصابة بالمرض عند تناول أغية ملوثة ببكتيريا *S. typhimurium* أو *S. enteritidis*. وتتلخص أعراض الإصابة فى آلام فى البطن وإسهال ، وشعور بقشعريرة chills وقىء متكرر مع ضعف شديد. وفى بعض حالات الإصابة تكون الأعراض شديدة القسوة وفترة الحضانة لهذا المرض فى حدود ٧-١٢ ساعة. وتجدر الإشارة هنا إلى أن فترة الحضانة فى حالة حمى التيفود typhoid fever (*S. typhi*) تتراوح بين ٧-١٤ يوماً وهذا هو الفرق

الواضح بين حالتى الـ *Salmonellosis* ، *Typhoid fever* إضافة إلى اختلاف المسببات الميكروبية والأعراض.

أما مرض الدوسنتاريا الباسيلية فيتميز بالحمى وتقلصات الأمعاء ومغص البطن عند الجس ، وإسهال مدمم ويحتوى البراز على كمية كبيرة من المخاط والصدید بالإضافة إلى الدم. وفى الحالات الشديدة من الإصابة تكون الأعراض أكثر تعقيداً ، والوقت اللازم لظهور هذه الأعراض يكون فى حدود ١-٧ أيام ، وعادة يكون أقل من أربعة أيام.

Genus 6 : *Klebsiella*

أفراده تنتج مادة الأسيتوين (a.m.c.) ، وتنتشر بكثرة فى الطبيعة فى التربة ، براز الإنسان والحيوان ، مياه المجارى والماء. وتوجد طبيعياً فى القنوات المعوية للإنسان والحيوان ، ولقد عزلت مصاحبه لحالات باثولوجية مثل حالات التهاب مجرى البول وكذلك التهاب المسالك التنفسية العليا. والنوع المثالى type species للجنس هو ميكروب *K. pneumoniae*

Genus 7 : *Enterobacter*

أفراده تتشابه فى خواصها تقريباً مع أفراد الجنس السابق مباشرة ولكنها متحركة ، أورنثين (+) ، لاكتوز (+) أى الجنس السابق (*Klebsiella*) فأفراده غير متحركة وكذلك أورنثين (-). والنوع المثالى type species للجنس هو *E.aerogenes*. ويستعمل فى اختبارات الكشف على صلاحية المياه للشرب والاستعمالات المنزلية وكذلك فى الكشف عن تلوث الأغذية والألبان بمصادر برازية.

Genus 8 : *Hafnia*

وهو يماثل جنس *Klebsiella* لكن يختلف عنه فى أنه غير مكون للكبسولة not encapsulated ، علاوة على بعض الاختلافات الأخرى.

Genus 9 : *Serratia*

تحتوى أفراد هذا الجنس على صبغات حمراء والنوع المثالى هو *S. marcescens* وتحتوى خلاياه على الصبغة الحمراء الداكنة brick red خاصة على بيئات الآجار المغذى (N.A) عند درجة حرارة الغرفة ، وهذا يساعد فى التعرف على وجود الميكروب ، ولذلك فإن تلوث الغذاء أو الألبان ومنتجاتها بهذا الميكروب يؤدي إلى تلونها باللون الأحمر.

Genus 10 : *Proteus*

أفراده لها قدرة عالية على تحليل السكريات منتجة حمض وغاز ، محبة للحرارة المتوسطة ، تقوم بكثير من عمليات فساد اللحوم والأغذية البحرية والبيض وتعطى رائحة تعفننية ، وإذا وجدت فى الأغذية غير المتلجة بأعداد كبيرة فإنها تسبب حالات تسمم ، ومنها ميكروب *P. vulgaris* ويعرف من الجنس خمسة أنواع هى : *P. mirabilis* , *P. vulgaris* , *P. Incenstans* , *P. rettgeri* , *P. morganii* وهذه الأفراد تلى ميكروب *Echerichia coli* فى تكرار تواجدها مسببة إصابات فى الجهاز البولى. ويتسبب نشاطها فى إفراز إنزيم اليوريز فإنها أكثر الأسباب إضراراً خاصة بالكلى kidneys. كثيراً ما يعزل أفراد هذا الجنس من البراز لتلك الأشخاص الذين يعالجون بالمضادات الحيوية ، وعزلت من حالات تعاني من الدوسنتاريا الحادة ، كما عزلت مرات من الدم.

Genus 11 : *Yersinia*

أفراده تسبب أنواعاً خطيرة من الأمراض فى الإنسان والحيوانات والقوارض ، مثل مرض الطاعون Plagne ويسببه ميكروب *Yersinia pestis* فى الإنسان والفئران rats والسنجاب الأرضى ground squirrel وقوارض أخرى. وينتقل الميكروب من فأر إلى فأر إلى الإنسان بواسطة برغوث الفأر rat flea

Genus 12 : *Erwinia*

أفراد الجنس مرتبطه بمياه النبات كمرضات حيث أن الغالبية من أفراد الجنس والذي يضم حوالي ١٣ نوعاً ، مترمّمات أو مكونات للفلورا السطحية المعايشة للنبات epiphytic flora. ولو أن هناك نوعاً واحداً قد عزل من عوائل حيوانية وبشرية. ومن الممرضات النباتية ما يسبب إتلاف النباتات ، إتلاف الخضروات والفواكه ومنها ما يلي :

١- *E. amylovora* : ويسبب النارية fire blight لمعظم النباتات التابعة للـ pomoidae وبعض الأنواع التابعة لعائلة Rosaceae ومن أشهرها اللّفة النارية في الكمثرى fire blight of pear

٢- *E. tracheiphila* : ويسبب الذبول البكتيري bacterial wilt الوعائي vascular wilt في القرعيات Cucurbita spp مثل الشمام والخيار.

٣- *E. carotovora* : ويسبب العفن الطرى soft rot بصفة خاصة في أنسجة التخزين في الخضر فيصيب المرض الجزر والبطاطس والبصل والكرنب وغيرها.

ثانياً : عائلة Vibrionaceae : خلايا أفراد هذه العائلة عصويات مستقيمة ، أو منحنية ، وعادة متحركة بواسطة فلاجلات قطبية ، ولو أن بعض الخلايا تمتلك أيضاً فلاجلات جانبية بالإضافة للقطبية. كيمو أورجانوتروفيه تستطيع أن تعيش تخمرياً fermentatively وكذلك تنفسياً respiratory ، موجبة للأكسجين ، عديد من الأنواع لها المقدرة على إنتاج بيوايثلين جليكول من الجلوكوز والبعض يحلل البروتينات والبعض الآخر ينتج الإندول. عادة تتواجد في المياه العذبة أو مياه البحار وأحياناً في الأسماك أو الإنسان. وعلى هذا يمكن القول بأن مفتاح تصنيف العائلتين بهذا الفصل يكون على النحو التالي :

I. Motile by peritrichous flagella ; oxidase-negative

Family I. Enterobacteriaceae

II. Motile by polar flagella; oxidase positive

Family II. Vibrionaceae

تضم عائلة Vibrionaceae خمسة أجناس وهم :

Vibrio, *Aeromonas*, *Plesiomonas*, *Photobacterium*,
Lucibacterium

وفيما يلي سوف نلقى الضوء على كل من هذه الأجناس :

Genus 1 : *Vibrio*

يعتبر الجنس المثالي type genus للعائلة ، كما أن النوع المثالي لهذا الجنس هو *V. cholerae* وهو مسبب مرض الكوليرا. والجدير بالذكر أن هذا الميكروب قد عرف منه أربعة طرز بيولوجية biotypes وهي :

1- *V. cholerae* biotype *cholerae*

2- *V. cholerae* biotype *elton*

3- *V. cholerae* biotype *proteus*

4- *V. cholerae* biotype *albansis*

ولقد تم إكتشاف الطراز " elton " في مصر عام ١٩٠٥ في مركز عزل الحجاج للعائدين من الأراضي الحجازية في الطور. ويوجد الطراز الأول biotype *cholerae* في الجهاز المعوي للإنسان وكذا الحيوانات التي تعاني من الكوليرا أو الإسهال البسيط والأصحاء الحاملين للميكروب وإيضاً وجد الميكروب في المياه وأحياناً الأغذية. والطراز الثاني biotype *elton* يتوطن في نفس الأماكن التي يتوطن فيها الطراز الأول biotype *cholerae* ولكن يستطيع أن يعيش فترات أطول في الأغذية عن الطراز الأول.

أما الطراز الثالث biotype *proteus* فيتواجد في الجهاز المعوي أو براز الإنسان والطيور ، ويسبب حالة إتهاب معدى معوى gastroenteritis وقد تسمى cholera nostras. أما الطراز الرابع biotype *albansis* فيوجد

فى الماء العذب ، براز الإنسان ، وفى الصفراء bile. ومن المعروف أن الكوليرا مرض شديد الحدة ، عظيم الخطر يصيب الإنسان وينتشر بين الطبقات الفقيرة فى الأحياء المزدهمة ويجتاح البلاد التى تفتقر إلى الخدمات الصحية الأساسية من توفير المياه الصالحة للشرب ، والصرف الصحى للفضلات. ولقد كان تلوث المياه هو السبب الرئيسى لحدوث الأوبئة الكاسحة فى البلاد التى توطنت فيها الكوليرا ، والمعروف أن الأعراض المرضية تحدث بعد أن تستعمر خلايا الميكروب الأمعاء الدقيقة ويخرج منها بعد انحلالها توكسين toxin شديد السمية يسبب الإسهال الشديد والقىء اللذان سرعان ما يحدثان الجفاف الشديد والصدمة وحموضة الدم والوفاة.

كما يحتوى هذا الجنس على أنواعاً أخرى من أشهرها *V. parahaemolyticus* والذى يسبب الحالة المرضية المسماة فبريوسيس vibriosis. والموطن الطبيعى لهذا الميكروب هو البيئات البحرية ، الأطعمة البحرية وبراز المرضى بالإلتهاب المعوى الحاد acute enteritis. ولقد وجد الميكروب فى السمك الخام غير المطهى والرخويات المختلفة وبعض الصدفيات مثل القواقع والمحار ، كما وجد أيضاً فى لحم الكابوريا المطهو. وبالتالي فإن هذه الأغذية تعد من أهم وسائل إنتقال مرض الفبريوسيس.

Genus 2 : *Aeromonas*

النوع المثالى type species لهذا الجنس هو *A. hydrophila* والذى يسبب مرض الساق الأحمر فى الضفادع red leg in frogs ، وهو ممرض للثعابين snakes إذ يسبب لها septicemia ، stomatitis. أيضاً قد يسبب إصابات فى أسماك المياه العذبة ، وقد يكون ممرض ثانوى أى secondary invader للأسماك المصابة بفيروس. يتواجد الميكروب فى المياه العذبة غير الملوثة.

Genus 3 : *Plesiomonas*

النوع المثالي type species لهذا الجنس هو *P. shigelloides* وعزل من براز الإنسان والقروء ، من العقد الليمفاوية للكليات canines وأجنة الدجاج الميت وهناك تقارير علمية تشير إلى حالات إنتشار لمرض الإلتهاب المعدي المعوي المعدى infectious gastroenteritis للإنسان كان سببها هذا الميكروب.

Genus 4 : *Photobacterium*

يتوطن أفراد هذا الجنس في مياه البحار ، أسطح ، القنوات الهضمية لبعض الأسماك البحرية والأعضاء المستضيئة lumirous organs لبعض الأسماك وال cephalopods وهي رأسيات الأرجل cephalopoda وتعد طائفة من الرخويات. والنوع المثالي للجنس هو *P. phosphoreum* وهو يخمر السكريات منتجا خليطا من الأحماض العضوية ويتميز بقدرته على إنتاج ضوء مرئي (إستضاءة) من خلال عملية الإستضاءة الحيوية luminescence ويعيش في البحار ويحتاج لنموه نسبة من الملوحة لا تقل عن ١ % من ص كل ، ويكثر عزله من خياشيم الأسماك البحرية.

Genus 5 : *Lucibacterium*

أفراد هذا الجنس تتوطن مياه البحار وتتواجد أيضاً على أسطح الحيوانات البحرية الميتة.

ثالثاً : الأجناس غير محددة النسب التي يضمها هذا الجزء

وعندها تسعة " ٩ " وهي *Zymomonas*, *Chromobacterium*,

Flavobacterium, *Haemophilus* , *Pasteurella* , *Actinobacillus*,

Cardiobacterium , *Streptobacillus* , *Calymmatobacterium*

وفيما يلي سوف نلقى الضوء على هذه الأجناس :

Genus 1 : *Zymomonas*

أفراد كيمو اورجانوتروفييه تخمر الجلوكوز أو الفركتوز بقوة منتجة كميات جزيئية متساوية من الإيثانول و ك₂ - من خلال مسار إنتر دودوروف Enter-Doudoroff pathway. ومن أنواع الجنس *Zymomonas mobilis* وكان يسمى سابقاً *Saccharomonas lindneri* or *Pseudomonas lindneri* وهو النوع المثالي للجنس. وهناك أيضاً النوع *Zymomonas anaerobia* وكان يسمى سابقاً *Saccharomonas anaerobia* وله اسم دارج وهو cider sickness organism لأنه يتواجد في السيدر الفاسد tainted cider ، ويعرف في إنجلترا بمرض السيدر cider sickness وتسبب الرائحة الكريهة unpleasant flavor من تراكم الأسيتالدهيد. أيضاً يتواجد نفس النوع في البيرة الفاسدة tainted beer وحيث تنشأ بها رائحة كريهة أيضاً ولكن أولاً من رائحة مسبقة بسبب ترايد انطلاق يدرك.

Genus 2 : *Chromobacterium*

أفراده تحصل على طاقتها (تأكسدياً) بالتنفس أو بالتخمير ، فهي كيمو اورجانوتروفييه تحتوي على صبغة بنفسجية violet pigment تسمى violacein تنتج على بيئات مناسبة ، لا تنتشر لكنها تذوب في الإيثانول ولا تذوب في الماء ولا الكلوروفورم. هذه الصبغة لها خصائص ضد ميكروبية antimicrobial characters. أفراد الجنس تعيش في التربة أو في المياه وأحياناً تسبب إصابات للثدييات أو فساد غذائي. النوع المثالي للجنس هو *C. violaceum* ، وهو يسبب أحياناً إصابات قيحية pyogenic أو تسممية septicemic خطيرة في الثدييات بما فيها الإنسان.

Genus 3 : *Flavobacterium*

هذا الجنس مهم من الناحية الغذائية لما تنتجه أفراد من صبغات صفراء وبرتقالية تسبب تغير لون اللحم وكذلك اللبن ومنتجاته (مثل النوع *F. synxanthum*) وأيضاً تشترك في فساد الأصداغ والمحاريات والدواجن والبيض. أفراد الجنس سالبات لجرام لا تكون جراثيم داخلية endospores. كثيراً ما تتكون هذه الصبغات عند درجات الحرارة المنخفضة (١٥-٢٠ °م) وغالباً ما يعمل الضوء على تشجيع ظهور هذه الصبغات. درجات حرارة تحضين هذه البكتيريا تقع تحت ٣٠ °م وتعمل درجات الحرارة العالية على تثبيط النمو. النوع المثالي للجنس هو ميكروب *F. aquatile*.

Genus 4 : *Haemophilus*

خلاياه عصويات مكورة إلى عصويات ، دقيقة إلى متوسطة الحجم وتكون مفردة وفي بعض الأحيان تكون خيوط ، وقد تكون متغيرة الشكل pleomorphic. أفراد الجنس طفيليات إجبارية strict parasites تحتاج إلى عوامل نمو خاصة (بصفة خاصة إلى X and/or V factors) تستمدّها من الدم. هوائيات إلى لاهوائيات إختياريّاً. قد تكون أو لا تكون ممرضة ، درجة الحرارة المثلى لها ٣٧ °م عادة. تتواجد في مناطق مختلفة وفي إفرازات ، كما تتواجد في الأغشية المخاطية للفقاريات.

يحتوى الجنس على ما يزيد عن ١٥ نوعاً ، النوع المثالي للجنس هو *Haemophilus influenzae* ، ولقد عزل هذا النوع في بادئ الأمر من حالات وبائية عالمية للإنفلونزا ، ووقتاً نسب إليه عن طريق الخطأ ، أنه هو المسئول المرضى عن الإنفلونزا. يوجد بصفة طبيعية في البلعوم الأقصى nasopharynx للإنسان بأعداد قليلة ، وفي الحالات الإكلينيكية في البصاق ، الجيوب الخارج أنفية paranasal sinuses ، الملتحمة conjunctive ،

للسائل المخ شوكي cerebrospinal fluid ، الدم ، الصديد فى حالات obstructive epiglottitis, otitis, osteomyelitis.

Genus 5 : *Pasteurella*

الخلايا بيضاوية أو عصوية الشكل ، تتواجد عادة مفردة وبدرجة أقل فى أزواج أو سلاسل قصيرة. الصبغ ثنائى القطبية bipolar staining شائع فى أفراد الجنس خاصة فى حالة التحضيرات المأخوذة من أنسجة مصابة. وصبغها بصبغة جيمسا أو أزرق الميثيلين. كيمو اورجانونوتروفيه ، تحصل على طاقتها بالتخمير ، طفيليات على الثدييات (بما فيها الإنسان) والطيور. يحتوى الجنس على حوالى خمسة أنواع منهم للنوع *P. multocida* وهو المثالى للجنس ، وهو ممرض بدرجة عالية للجرذان mice والأرانب rabbits

Genus 6 : *Actinobacillus*

Genus 7 : *Cardiobacterium*

يحتوى الجنس على نوع واحد تقريبا هو *C. hominis* واكتشف فى لواتل المبيعات من القرن السابق ، وصيغ اسم الجنس اشتقاقا ونسبا للقلب أى بكتيريا القلب bacterium of the heart. ويوجد الميكروب فى أنف وحلق الإنسان وأثبتت الدراسات أنه يؤدى إلى التهاب بطانة القلب endocarditis فى الإنسان ، ولم تنجح الدراسات المعملية على حيوانات التجارب فى إحداث المرضية بها.

Genus 8 : *Streptobacillus*

أفراده متطفلات إلى ممرضات للفئران والثدييات الأخرى. النوع المثالى للجنس هو *S. moniliformis* وعزل من سائل المفصل ومن الدم فى الحالات الالتهابية لالتهاب المفاصل المتعدد polyarthrits فى الفئران. عزل من مفصل العرقوب hock joint والكيس القصى sternal bursa فى حالات

إلتهاب المفاصل في الديوك الرومي *Turkeys*. يعتبر الميكروب *S. moniliformis* مستوطناً للبلعوم الأنفي *nasopharynx* للفئران البرية وفئران التجارب. يسبب مرض "حمى عضه الفار الستربتوباسيلية *streptobacillary rat bite fever* في الإنسان وكذلك *streptobacillary arthritis of mice and turkeys* وهو مرض إلهاب المفاصل الإستربتوباسيلي في الفئران والديوك الرومي.

Genus 9 : *Calymmatobacterium*

يوجد بالجنس نوع واحد وهو المثالي ، وهو *C. granulomatis* خلاياه عصوية متغيرة الشكل *pleomorphic*. عادة يكون كبسول *encapsulated* غير متحرك ، يسبب *granuloma inguinale* ، *other granulomatous lesions* في الإنسان.

6. Gram negative anaerobic straight curved and helical bacteria

يدخل تحت هذا القسم البكتيريا اللاهوائية ، السالبات لجرام عائلة واحدة هي *Fam. Bacteroidaceae* وستة "6" أجناس غير محددة النسب *genera of uncertain affiliation*. لما للعائلة فتضم ثلاثة أجناس - هي : 1-

Bacteroides 2- *Fusobacterium* , 3- *Leptotrichia*

أفراد العائلة عصويات ذات شكل ثابت موحد أو متغيرة *pleomorphic* ، سالبات لجرام ، غير متحركة ، أو متحركة بواسطة *endospores* ، فلاجلات محيطية ، لا تكون جراثيم داخلية ، كيمولورجانونوتروفيه ، لاهوائيات إجباراً ، عزلت من التجاويف الطبيعية للإنسان والحيوانات الأخرى ومن الجهاز المعوي للحشرات حيث تتواجد في

هذه الأديان. عزلت أيضاً من الإصابات infections بالإنسان والحيوانات الأخرى ، بعض الأنواع مرضه.

Genus 1 : *Bacteroides*

هو الجنس المثالي للعائلة ، والنوع المثالي هو *B. fragilis* وعزل من محتويات المسالك المعوية السفلى للإنسان والحيوانات الأخرى حيث يتواجد كجزء من مكونات الفلورا الطبيعية السائدة predominant flora ، وعزل في بعض الأحيان من تلفم ومن عينات من التهابات الزائدة الدودية rectal ، blood ، heart valve infections ، peritonitis ، appendicitis ، abscesses ، pilonidal cysts ، ومن الجروح الجراحية والمناطق المصابة في الجهاز البول تناسلي urogenital tract.

Genus 2 : *Fusobacterium*

أفراده تتواجد أيضاً في تجاويف الإنسان والحيوانات الأخرى. بعض الأنواع ممرضة وتتواجد في إصابات قيحية purulent أو gangrenous مختلفة وفي انسدادات infarcts للعضو. النوع المثالي للجنس هو *F. nucleatum* وعزل من الفم ومن إصابات الجهاز التنفسي العلوي والتجويف pleural cavity وأحياناً من الجروح.

Genus 3 : *Leptotrichia*

تتواجد أفراده في التجويف الفموي oral cavity للإنسان والنوع المثالي للجنس هو *L. buccalis*.

7. Dissimilatory sulfur or sulfate reducing bacteria

مجموعة من البكتيريا توضع في عدة أجناس منها - *Desulfovibrio*

Butyrivibrio - *Succinivibrio* - *Succinimonas* - *Lachnospira* - *Selenomonas*

وفيما يلي وصفاً مختصراً لهذه الأجناس :

Genus 1 : *Desulfovibrio*

من الأجناس الهامة زراعياً ، أفراده عصويات منحنية curved rods ، كيمو أورجانوتروفيه تعيش في التربة للزراعية بكثرة حيث تقوم بإختزال الكبريتات مباشرة إلى يدهكس أثناء أكسدة المركبات العضوية للحصول على الطاقة. وهذه الخطوة تناظر إختزال النترات NO_3^- في دورة النيتروجين. وتستطيع هذه البكتيريا أيضاً إختزال الكبريت والثيوكبريتات ، وهي ميكروبات لا هوائية حتماً. ويشاهد نشاطها في الطين وفي قاع البرك وعلى الشواطئ ، ونظراً لأن ماء البحر يحتوى على نسبة عالية من الكبريتات SO_4^{2-} ، فإن عملية إختزالها تكون مصحوبة بتحويل المادة العضوية إلى غير عضوية في القاع. وتشاهد هذه الحالة في البحر الأسود حيث يتحول قاعه إلى طبقة من الطين الأسود لإحتوائه على كبريتيد الحديد والذي تكون نتيجة تفاعل يدهكس الناتج عن نشاط هذه البكتيريا مع معدن الحديد مكوناً ح كس وأيدرات الحديدوز. وفي حالة حدوث ذلك في مواسير الحديد ، ينتج عنه تآكل المواسير الحديدية ، مما يسبب خسارة إقتصادية كبيرة ، كما أن هذه البكتيريا تلعب دوراً كبيراً في تكوين الأراضي القلوية. والنوع المثالي للجنس هو ميكروب *D. desulfuricans*.

Genus 2 : *Butyrivibrio*

عصويات منحنية curved rods سالبات لجرام ، كيمو أورجانوتروفيه تحصل على طاقتها بالتخمير مستخدمة الكربوهيدرات بإعتبارها المواد الأساسية التي تخمرها. تخمر الجلوكوز مع إنتاج أحماض البيوتريك والفورميك وأحياناً لاكتيك ، يدهكس ، ك. أ. النوع المثالي type species للجنس هو *B. fibrisolvens* ويتواجد في كرش معظم إن لم يكن كل المجترات Ruminants.

8. Gram negative anaerobic cocci

يدخل تحت هذا القسم من البكتيريا الكروية اللاهوائية السالبة لجرام عائلة واحدة هي Family Veillonellaceae والتي تضم بدورها ثلاثة أجناس هي :

Veillonella , *Acidaminococcus* , *Megasphaera*

أفراد العائلة عبارة عن خلايا كروية تتفاوت أقطارها من الصغيرة (٠,٣-٠,٥ ميكرون) إلى الكبيرة (حوالي ٢,٥ ميكرون) ، تتواجد بطريقة تميزها في أزواج وكتل خلايا مفردة ، وكتل وسلاسل ربما غير متصلة تماماً ببعضها. وقد تتقطع جوانب اتصال الخلايا ببعضها ، غير متحركة ، لا تمتلك فلاجلات ، سالبات لجرام ، كيموأورجانونوتروفيه ، لها متطلبات غذائية معقدة ، تنتج الغاز بوفرة غالباً ، قد يمكنها تخمير الكربوهيدرات في ظروف معينة. قد لا تنتج حمض لاكتيك ، وإذا أنتج فلا يكون منتج رئيسي ، بعض أجناس العائلة تخمر اللاكتات مع إنتاج CO_2 , H_2 مع عديد من الأحماض الدهنية الطيارة قصيرة السلاسل (المحتوية على ٢-٦ ذرات كربون) ، لاهوائيات سالبة لإختبار السيتوكروم أوكسيديز ، سالبة للكتاليز ، ولو أن بعض السلالات يمكنها تحليل البيروكسيد بواسطة pseudocatalase (non-heme containing).

تعتبر طفيليات على الحيوانات المتجانسة حرارياً homothermic animals مثل الإنسان ، المجترات ، القوارض والخنازير - حيث توجد بصفة خاصة في الجهاز الهضمي . الجنس المثالي type genus للعائلة هو *Veillonella*.

جنس *Megasphaera* يضم كرويات كبيرة نسبياً ، أقطارها ٢,٠ ميكرون أو أكثر ، تتواجد في أزواج pairs وأحياناً تتصل الأزواج لتكون

سلاسل ، غير متحركة ، كيموهتروتروفية ، تنتج الغاز ، تخمر اللاكتات والجلوكوز مع إنتاج أحماض دهنية قصيرة السلسلة ، ك أ_٢ وبعض الأيدروجين ، لها متطلبات غذائية معقدة ، لاهوائية إجباراً. النوع المثالي type species للجنس هو *Megasphaera, elsdanii* وكان يسمى سابقاً *Peptostreptococcus elsdanii*. يتواجد في كرش الماشية والأغنام ، والأعور cecum للخنزير المغذاة فترة طويلة على النشا. منتجات هذا الميكروب من اللاكتات تشمل : خلايا ، بروبيونات ، أحماض رباعية ذرات الكربون متفرعة أو مستقيمة السلسلة ، valerate ، كمية كبيرة من ك أ_٢ ، كمية ضئيلة من حمض الكابرويك ، كميات صغيرة من H₂. وتختلف المنتجات من الجلوكوز عنها من اللاكتات من حيث أنه في حالة الجلوكوز نجد بعض الفورمات تنتج ، الخلايا أقل ، البروبيونات ، البيوتيرات والفاليرات تتكون - أما الكابروات (حوالي ٦٠ % أو أكثر) فهي تشكل أكثر المنتجات غزارة.

Gram negative chemolithotrophic bacteria

يدخل تحت هذا القسم مجموعة من البكتيريا الكروية والعصوية والحلزونية التي تعيش معيشة معدنية بحتة ، فتحصل على طاقتها من تفاعلات أكسدة وإختزال المركبات المعدنية وتأخذ الكربون من ثاني أكسيد الكربون الجوي ، وعلى ذلك تصنف بكتيريات هذا الجزء في ثلاثة مجموعات حسب نوعية تفاعلات مصادر الطاقة :

I : Organisms oxidizing ammonia or nitrite.

II : Organisms metabolizing sulfur and sulfur compounds.

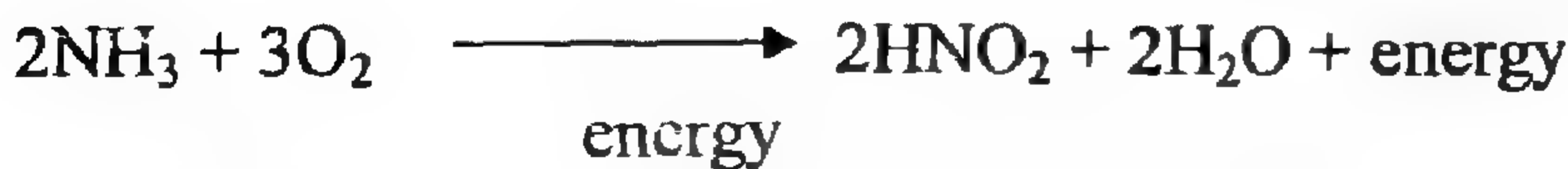
III : Organisms depositing iron and/or manganese oxides.

وفيما يلي نلقى الضوء على كل من المجموعات الثلاثة :

أولاً : البكتيريا المؤكسدة للأمونيا أو النيتريئات

وضعت أفراد هذه المجموعة فى عائلة واحدة هى fam. Nitrobacteraceae ، وتتراوح أشكال الخلايا فى هذه العائلة ما بين العصوى rod ، الأهلجي ellipsoidal ، الكروى spherical ، الحزونى spirillar والخلايا المفصصة lobular. لا تكون جراثيم داخلية endospores. الفلاجلات تحت قطبية أو محيطية وغالباً غائبة. تحصل أفراد العائلة على طاقتها من أكسدة الأمونيا NH_3 (أربعة أجناس) أو من أكسدة النيتريت NO_2^- (ثلاثة أجناس) ، وتحصل على احتياجاتها من الكربون من خلال تثبيت ك H_2 الجوى. ويوجد قلة فقط من سلالات النوع *Nitrobacter winogradskyi* يمكنها أن تعيش كيموأورجانوتروفياً اختياريًا facultatively chemoorganotrophic. ليس من بين أفراد العائلة من يعيش طفيلياً. توجد عادة فى التربة ، المياه العذبة ، ومياه البحار. جميع أفراد العائلة هوائية إجباراً ، وليس من بينها ما يتطلب عوامل نمو عضوية. الخلايا غنية بالميتوكرومات ولم يثبت وجود أية صبغات أخرى بها. الجنس المثالى type genus للعائلة هو *Nitrobacter*.

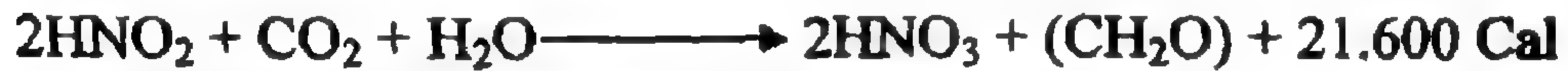
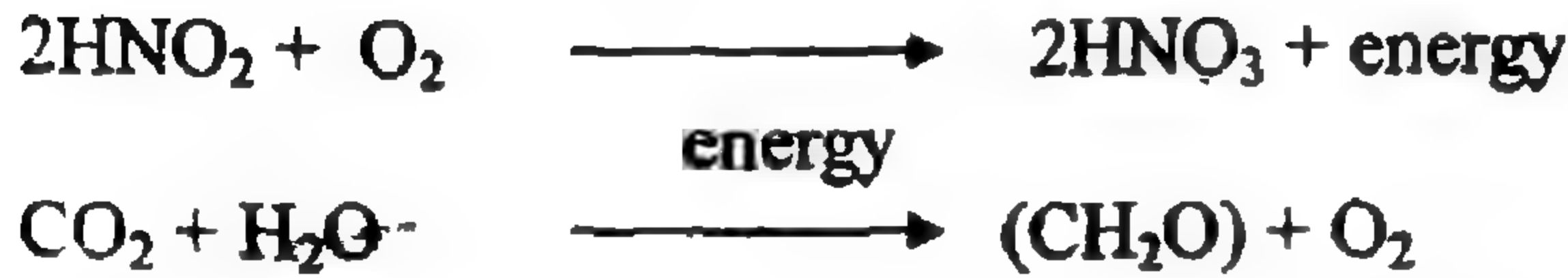
تحتوى العائلة على سبعة أجناس أربعة منها تؤكسد الأمونيا ن يد^٢ إلى نيتريت ن NO_2^- وثلاثة تؤكسد النيتريت ن NO_2^- إلى نترات ن NO_3^- . الأجناس التى تؤكسد الأمونيا ن يد^٢ إلى نيتريت ن NO_2^- ، أى تجرى التفاعلات التالية ، والتى تسمى nitrosification :



هي :

- 1) *Nitrosomonas*, type species is *N. europaea*
- 2) *Nitrospira*, type species is *N. briensis*
- 3) *Nitrosococcus*, type species is *N. nitrosus*
- 4) *Nitrosolobus*, type species is *N. multiformis*

أما الأجناس التي تؤكسد النيتريت ن^٢ إلى نترات ن^٣ ، أي
تجرى التفاعلات التالية ، والتي تسمى nitrification :



- 1) *Nitrobacter*, type species is *N. winogradskyi* هي :
- 2) *Nitrospina*, type species is *N. gracilis*
- 3) *Nitrococcus*, type species is *N. mobilis*

وتسمى مجموعة التفاعلات كلها التي تجريها أفراد العائلة بأجناسها :
مؤكسدات الأمونيا ومؤكسدات النيتريت ، بتفاعلات التازت nitrification أو
النترته. وتسمى هذه البكتيريا جميعاً " البكتيريا المؤزته
Nitrifying bacteria". وتنتشر هذه الميكروبات في التربة الزراعية على
نطاق واسع ، وهي مهمة جداً لخصوبة التربة حيث تقوم بعملية أكسدة
النيتروجين النشادرى الناتج من تحلل المادة العضوية بالتربة ، وبذلك تمنع
فقدانها على صورة غاز ، علاوة على أن النترات ، وهي الناتج النهائى لهذه
التفاعلات تعتبر من أحسن الصور للاستفادة بها عن طريق النباتات. ومن
البديهي أن هذه الميكروبات أثناء نشاطها تحصل على ما يلزمها من
(٢٩١)

نيتروجين لبناء الخلايا الجديدة من أيون الأمونيوم (في حالة الأربعة أجناس المؤكسدة للنشادر) لو من النيتريت (في حالة الثلاثة أجناس الأخرى). وتجدر الإشارة إلى أن هناك عوامل كثيرة تؤثر في توزيع وانتشار ونشاط هذه البكتيريا في التربة. ومن أهم هذه العوامل رقم الـ pH (حيث يناسبها فقط pH 6.5-8.0)، الرطوبة الأرضية، إضافة المخلفات العضوية للتربة، إضافة لملاح أمونيوم للتربة ودرجة التهوية.

ثانياً : البكتيريا الممثلة للكبريت ومركباته

أفراد هذه المجموعة وصفت في سنة أجناس بيانها كالتالي :

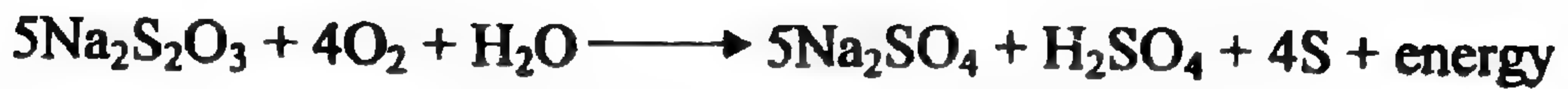
- 1) *Thiobacillus*, type species is *T. thioparus*
- 2) *Sulfolobus*, type species is *S. acidocaldarium*
- 3) *Thiobacterium*, type species is *T. bovista*
- 4) *Macromonas*, type species is *M. mobilis*
- 5) *Thiovulum*, type species is *T. majus*
- 6) *Thiospira*, type species is *T. winogradskyi*

جميعها لها القدرة على الحصول على ما يلزمها من طاقة من خلال عمليات أكسدة المركبات الكبريتية غير العضوية المختزلة مثل : sulfides, elemental sulfur, sulfites, thiosulfate, polythionates والنتائج النهائية للأكسدة هو الكبريتات sulfate. وبعضها يرسب حبيبات الكبريت العنصري داخل خلاياها. ويعتبر جنس *Thiobacillus* من الأجناس الهامة زراعياً وتتواجد أفراده في التربة، ومنه النوع *T. ferroxidans* الذي يمكنه استغلال مركبات الحديد كمستقبلات للإلكترون كما أن النوع *T. denitrificans* (على عكس جميع أفراد الجنس التي تعتبر هوائيات إجباراً) ينمو لاهوائياً في وجود النترات التي تقوم بدور مستقبل للإلكترون.

ويتميز جنس *Thiobacillus* عموماً بأنه لا يرسب حبيبات الكبريت داخل خلاياه. والأمثلة التالية توضح التفاعلات التي تقوم بها بعض أفراد *T. thiooxidans, T. novellus*



T. thioparus



T. denitrificans



ثالثاً : البكتيريا مرسبة أكاسيد الحديد أو المنجنيز

جمعت هذه البكتيريا التي تؤكد للحديد أو المنجنيز وترسبها على صورة أكاسيد ، في عائلة واحدة سميت *family Siderocapsaceae* تضم أربعة أجناس هي :

- 1) *Siderocapsa*, type species is *S. treubii*
- 2) *Naumanniella*, type species is *N. neustonica*
- 3) *Ochrobium*, type species is *O. tectum*
- 4) *Siderococcus*, type species is *S. limoniticus*

وتوجد هذه الميكروبات في المياه الطبيعية ذات الـ pH المائل للقلوية والغنية بالحديد أو المنجنيز - في تجمعات *clusters* من عدد قليل حتى ٦٠ خلية ومغلفة بما يشبه القشرة *torus* من أكاسيد الحديد ، ولهذا يصعب عزلها

فى صورة مزارع نقية. تحصل على طاقتها من أكسدة الحديد والمنجنيز إلى أكسيد الحديد أو المنجنيز خارج خلاياها وليست داخلها. ويعزى وجود طبقة هلامية ذات لون أصفر محمر على الطين أو للحجارة أو على أسطح المياه وصول النباتات المائية ، إلى نشاط هذه البكتيريا وترسيبها لأيدروكسيد الحديد. ومن أحسن الأمثلة لها هو *Siderocapsa treubii* وهى بكتيريا مائية تنشط أينما كانت المياه الغنية بالحديد وتقوم بترسيب أيدروكسيد الحديد على صورة قشرة تحيط بالتجمعات للبكتيرية يبدو مظهرها هلامى لزج فى صورة كتل أو سحابات على أسطح المياه وبالقرب من الشواطئ والأحجار ، وربما يعزى إليها قتل لو سد مواسير المياه وما ينجم عن ذلك من خسائر اقتصادية ، وهى فى ذلك تماثل أفراد جنس *Gallionella, Leptothrix*.

9 . Rickettsias and Chlamydiae

بكتيريا صغيرة غير متحركة سالبة لجرام ، تنمو داخل عوائلها الإيوكلاريوتية فقط ، وعلى الرغم من أن أحجامها فى حالات كثيرة تقارب بعض الفيروسات الكبيرة والآخرى متطفلة إجبارياً أيضاً فإنها تصنف كبكتيريا على أساس أنها تشبه البكتيريا القياسية فى وجود كلا الحمضين النوويين بها (DNA ، RNA) ، وتكاثرها بالإندام الثنائى ، واحتواء جدرها الخلوية على حمض ميوراميك (لو حتى أحد أشكال الببتيدوجليكان كما فى الكلاميدات) ووجود الريبوسومات ، واحتواءها على إنزيمات نشطة فى التمثيل الغذائى ، وتنشيط نموها بالعقاقير المضادة للبكتيريا ، وتخليقها للـ ATP كمصدر للطاقة علماً بأن الكلاميدات لا تخلق الـ ATP .

تختلف الرايكتسيات عن الكلاميدات فى أن الأولى تمتلك نظام تمثيل غذائى معقد كثيراً يسمح لها بتخليق الـ ATP وتفتقر إلى وجود نورة تطورية معقدة . من أمثلة الرايكتسيات جنس *Rickettsia* الذى يحدث الحمى

المعروفة باسم fever spotted . الكلاميديات متطفلات إجبارية تختلف عن الرايكتسيات في عدم مقدرتها على تصنيع الـ ATP وإعتمادها الكامل على خلايا العائل في الحصول على هذا المركب ولذلك كثيراً ما يطلق عليها energy parasites وكذلك إمتلاكها لدورة تطورية مميزة ، من أمثلة الكلاميديات جنس *Chlamydia* الذي يسبب الـ Trachoma .

10. Anoxogenic phototrophic bacteria :

يضم هذا الجزء Order Rhodospirillales ويتبعها جميع البكتيريا الممثلة للضوء. تصنف الرتبة إلى تحت رتبة بثلاثة عائلات ، ثم عقب إكتشاف جنساً جديداً من البكتيريا الخضراء المتحركة بحركة إنزلاقية gliding movement وهو جنس *Chloroflexus* أنشأ عائلة سميت *Chloroflexaceae* لتضم هذا الجنس السابق وما يستحدث على شاكلة والذي تتميز أفراده : بمرونة الخلايا ، الحركة الإنزلاقية. حويصلات كلوروبيوم تحتوي على كلوروفيل c , a . تفضل الحياة الفوتوأورجانوتروفيه. المقدرة على النمو هوائياً في الظلام.

وعلى ذلك تصنف الرتبة إلى أربعة عائلات كما يلي :

Suborder Rhodospirillineae :1

(% 73 – 61 GC) fam. Rhodospirillaceae

(% 67 – 46 GC) fam. Chromatiaceae

Suborder Chlorobiineae :2

(% 58 – 48 GC) fam. Chlorobiaceae

(% 55 – 53 GC) fam. Chloroflexaceae

ويعتمد تصنيف الرتبة إلى تحت رتبة وعائلات على مجموعة من

الخصائص أهمها ما يلي :

- Photo synthesis carried out under anaerobic conditions.

- Color of culture.
- Presence of bacteriochlorophyll a, b, c or d.
- Nature of electron donor (organic or sulfur-containing).
- Oxidation of accumulated sulfur to sulfate.
- Elemental sulfur as electron donor.
- Accumulation of elemental sulfur.

أفراد الرتبة جميعها بكتيريا ممثلة للضوء ، وغالباً تعيش في ظروف مائية ، ويتراوح شكل الخلايا بين المستدير ، العصوي ، الضمى ، الحزوني. تتكاثر غالباً بالانقسام الثنائي البسيط ، بعض الأنواع يتكاثر بالتبرعم ، سالبة لجرام. الخلايا ملونة لوجود خليط من صبغات الكلوروفيل البكتيري والكاروتينات تختلف من اللون الأرجواني البنفسجي ، الأحمر ، البنى ، البرتقالي ، والأخضر. يمكن للبعض تخزين حبيبات الكبريت داخل الخلايا ، فالبعض يرسبه بداخل الخلايا والبعض الآخر يرسبه خارج الخلايا، في حين أن هناك من لا يستطيع استخدام مركبات الكبريت إطلاقاً.

تختلف عملية التمثيل الضوئي التي يقوم بها أفراد هذه الرتبة عن تلك التي يقوم بها الطحالب والنباتات الخضراء في أنها تحدث هنا في ظروف لاهوائية ، ولا ينطلق عنها الأوكسجين كناتج نهائي ، وكذلك فإن معطى الإلكترون يكون عبارة عن مركبات مختزلة مثل مركبات الكبريت القابلة للأكسدة ، أو الأيدروجين الجزيئي أو مركبات عضوية على عكس النباتات الخضراء والطحالب حيث يكون معطى الإلكترون هو الماء على النحو التالي

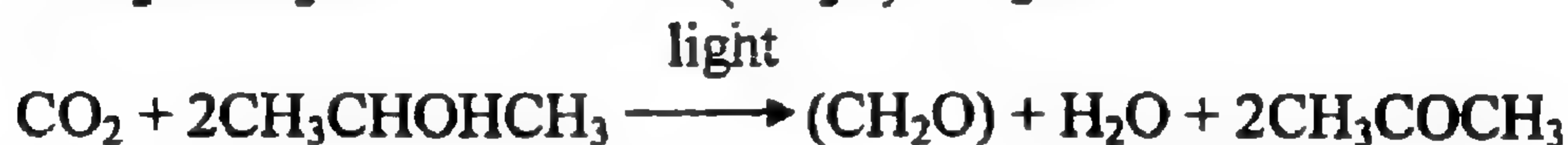
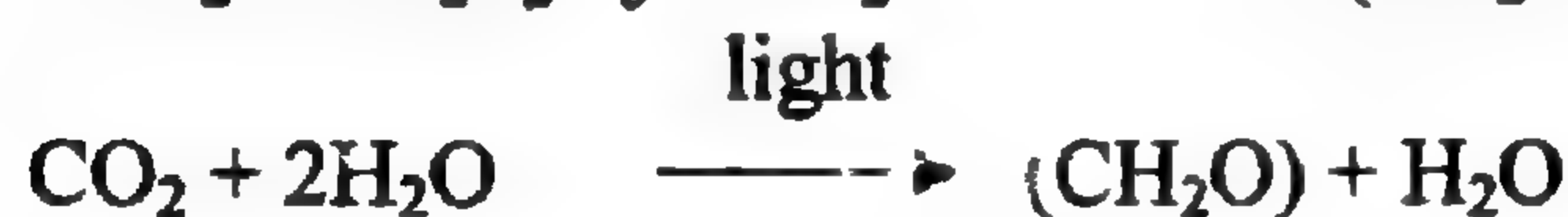
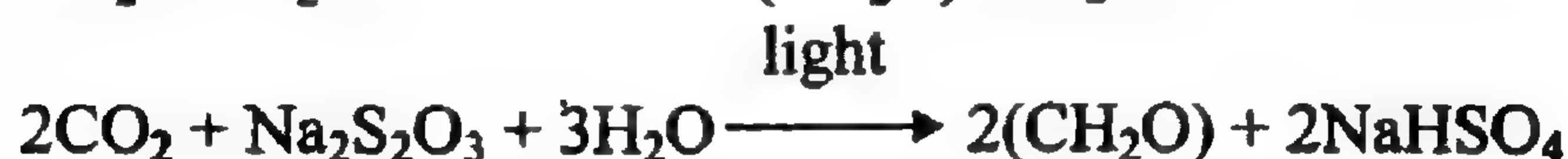
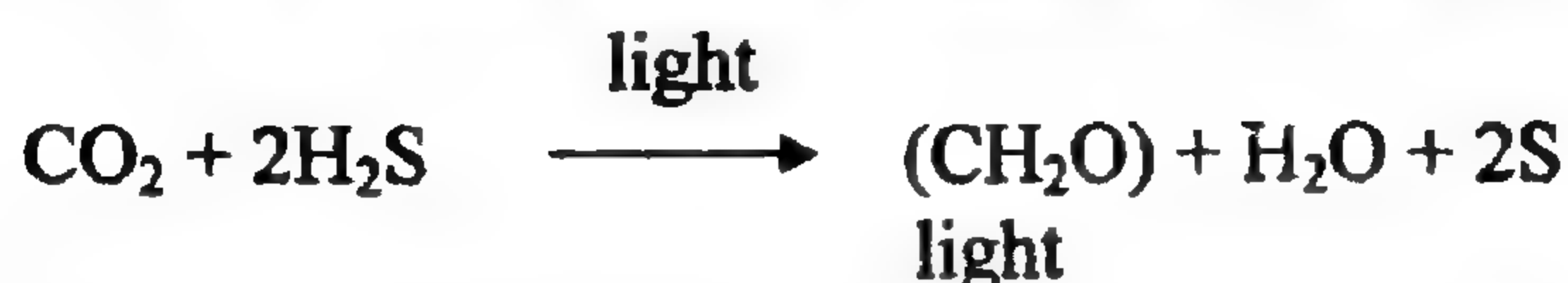
- Green plant photosynthesis :



- Bacterial photosynthesis :



In reaction 2, H_2A serves as hydrogen donor to NADP at first, and NADPH reduces the CO_2 to sugar CH_2O . Hence, A may be sulfur or an organic residue, depending on species.



Family 1 : Rhodospirillaceae

تضم مجموعة البكتيريا الأرجوانية غير الكبريتية non-sulfur

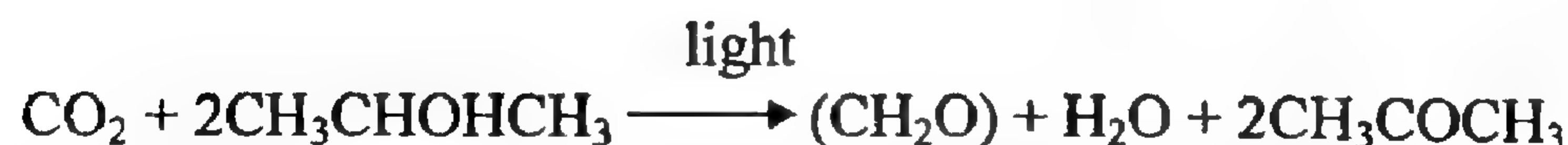
purple bacteria الممثلة للضوء ، وكانت تسمى Athiorhodaceae.

أفرادها غالباً فوتوأورجانونوتروفيه تستخدم المركبات العضوية أو حتى

الهيدروجين الجزيئي كمعطي للإلكترون (أي كمختزلات بنائ ضوئي) ولا

يمكنها استعمال مركبات الكبريت بل أن H_2S يعتبر سام لها ، والمعادلة

التالية مثالاً على نشاطها :



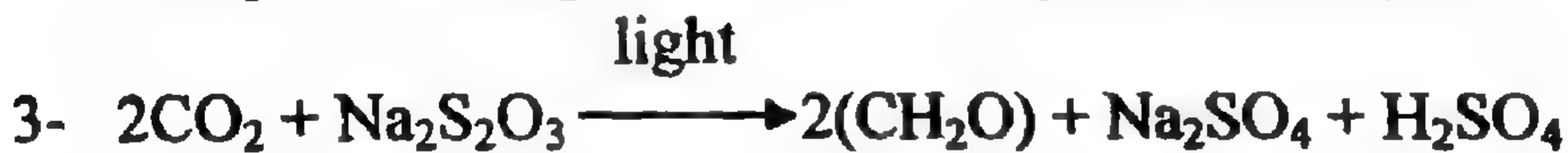
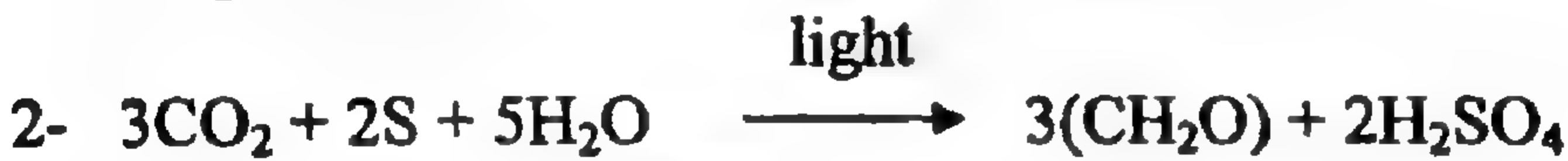
وتحتوى الخلايا على بكتيريوكلوروفيل a , b. وتصنف العائلة إلى

ثلاثة أجناس هي :

Rhodomicrobium , *Rhodopseudomonas* , *Rhodospirillum*

Family 2 : Chromatiaceae

تسمى أفراد هذه العائلة بالبكتيريا الأرجوانية الكبريتية purple sulfur bacteria وكانت تسمى بالـ Thiorhodaceae . أفرادها تستطيع النمو في وجود الكبريتيدات أو الكبريت كمعطي للإلكترون أي أنها تستخدم عديداً من المركبات غير العضوية المختلفة المحتوية على الكبريت ، كما يمكنها الإفادة من الأيدروجين كمختزلات في عمليات البناء الضوئي photosynthetic reductants. لها القدرة على تكوين حبيبات كبريت عنصرى داخل أو خارج خلاياها إذا أمدت بالكبريتيدات sulfides ، كما يمكنها علاوة على ذلك أكسدة الكبريت المتراكم من الخطوة السابقة إلى كبريتات SO_4^{2-} . وأي معادلة من المعادلات التالية يمكن أن تعبر عن عملية البناء الضوئي بواسطة بكتيريا الكبريت الأرجوانية على حسب المختزل reductant المتوافر للعملية ، ويمثل CH_2O أساس الكربوهيدرات المخلقة :



معظم أفراد العائلة لاهوائيات حتماً. وتصنف العائلة إلى عشرة أجناس

Thiospirillum, Thiosarcina, Thiocystis, Chromatium, : genera

Thiopedia, Thiodictyon, Lamprocystis, Thiocapsa,

Ectothiorhodospira, Amoebobacter لها القدرة على تخزين حبيبات

الكبريت الناتج من أكسدة الكبريتيد داخل خلاياها intermediately ،

intracellularly بإستثناء جنس واحد هو *Ectothiorhodospira* والذي يرسب حبيبات الكبريت العنصري خارج خلاياه extracellularly i.e. The key characteristics to the genera of family Chromatiaceae are Position of stored sulfur , Presence of gas vacuoles , Motility , Type of flagellation and Cell shape and arrangement.

بصفة عامة ، فإن الكبريتات تعتبر الناتج النهائي لأكسدة مركبات الكبريت بقصد الحصول على الطاقة وبناء الخلايا الجديدة. أفراد العائلة لاهوائيات إجباراً ، ممثلات للضوء إجباراً ، *obligate phototrophic* ولا يمكن أن تنمو في الظلام. البعض محب للملوحة ، غالباً فوتوليثوتروفيه ، ولو أنها تمتلك المقدرة على المعيشة ميكسوتروفياً *mixotrophic*. يوجد بالخلايا بكتيريوكلوروفيل a , b. تتواجد أفراد العائلة في المناطق المائية مثل المصارف ، المستنقعات ، والبرك خاصة المحتوية على تركيزات عالية من الكبريتيدات ، وكذلك في الأراضي التي تحتوي على طين أسود.

Family 3 : Chlorobiaceae

تسمى أفراد هذه العائلة بالبكتيريا الكبريتية الخضراء *Green sulfur bacteria* وكانت تسمى سابقاً *Chlorobacteriaceae* . تتميز بوجود بكتيريوكلوروفيل c , d وتستخدم هذه الكائنات نفس المختزلات الباء ضوئية *photosynthetic reductants* التي تستخدمها بكتيريا الكبريت الأرجوانية. وعلى ذلك يمكنها عمل ذات التفاعلات السابق عرضها. وتستطيع ترسيب حبيبات الكبريت العنصري خارج خلاياها عند إنمائها في وسط يحتوي على الكبريتيد. جميعها لاهوائيات حتماً. يمكن للبعض منها إستخدام الهيدروجين الجزيئي كمعطي للإلكترون بشرط وجود الكبريتيد ، وبذلك فهي تقوم بدور

عظيم في أكسدة الكبريت المختزل مثل H_2S إلى حمض كبريتيك أثناء حصولها على الطاقة ، ونتيجة للأكسدة يتكون أيون الأيدروجين ، وعلى ذلك فإضافة الكبريت تعتبر من الطرق الناجحة في إصلاح الأرض القلوية. تصنف هذه العائلة إلى خمسة أجناس هي: *Chlorobium, Prosthecochloris,*

Chloropseudomonas, Pelodictyon, Clathrochloris

أفراد العائلة ترسب الكبريت خارج خلاياها بإستثناء جنس واحد فقط من الخمسة وهو *Clathrochloris* هو الذي تمتلك بعض أفرادها المقدرة على ترسيب حبيبات الكبريت داخل خلايا *intracellularly*

i.e. The key characteristics to the genera of family chlorobiaceae are Association with other microbes , Presence of gas vacuoles , Cell shape and arrangement , Mobility.

أفراد العائلة ممثلات للضوء إجباراً *obligately phototrophic* بمعنى أنها لا تقوى على الأيض التنفسي *respiratory metabolism* في الظلام (أى لا يمكن لها النمو في الظلام) . بعض الأفراد يمكنها تمثيل مواداً عضوية بسيطة في عملية النمو الفوتوتروفي بشرط وجود مركب كبريتي مختزل *reduced* كمصدر للكبريت. ذلك نظراً لعجز هذه البكتيريا عن الإختزال التمثيلي للبكتيريات *assimilatory sulfate reduction* . المركبات العضوية التي يمكن أن تستعملها هذه الأنواع البكتيرية تشمل الخلايا ، بروبونات ، بيروفات ، ولاكتات. ومن ثم يطلق على هذه الأنواع بأنها ميكسوتروفية بفعالية *potentially mixotrophic*

Family 4 : Chloroflexaceae

أفرادها تسمى البكتيريا الخضراء غير البكتيرية *green non-sulfur bacteria* ، وهي خيطية الشكل ، تتحرك حركة إنزلاقية *gliding*

movement وتسمى لذلك البكتيريا الخضراء المنزلقة gliding green bacteria تميزاً لها عن البكتيريا المنزلقة ويتبع لهذه العائلة الجنس : *Oscillochloris* , *Chloroflexus* ، وتعيش أفرادها في الأوساط المائية ، وبصفة خاصة كعوالق مائية في البحيرات planktonically in lakes. يمكن لأفراد العائلة أن تنمو هتروتروفياً في الظلام تحت ظروف هوائية ، كما تنمو فوتوتروفياً phototrophically على مجموعة كبيرة متنوعة من السكريات ، الأحماض الأمينية والأحماض العضوية أو فوتولوتوتروفياً photoautotrophically باستخدام H_2S أو H_2 مع CO_2 .

1.1. Oxygenic phototrophic bacteria

أما بخصوص البكتيريا الأوكسيجينية oxygenic photobacteria (oxyphotobacteria) والتي تسمى بالسيانوبكتيريا Cyanobacteria فتصنف في رتبتين هما :

1- Order Cyanobacteriales.

2- Order Prochlorales.

وتحتل هاتين الرتبتين مكاناً وسطاً فيما بين البكتيريا الفوتوتروفية من ناحية والطحالب الإيوكاريوتية من ناحية أخرى ، وربما كانت هذه حلقة تطورية evolutionary link. الصبغة الأساسية في نظام البناء الضوئي في أفراد هاتين الرتبتين هي كلوروفيل a ، ولو أن prochlorophytes (Prochlorales) تحتوي أيضاً على كلوروفيل b ، الأمر الذي يجعلها أكثر شبهاً وقرابة بالطحالب الخضراء.

وعلى العكس ، فإن بعض السيانوبكتيريا cyanobacteria يمكنها القيام بعملية البناء الضوئي اللاأوكسيجينية anoxygenic photosynthesis كمصدر للطاقة وهي الميزة للبكتيريا الضوئية اللاأوكسيجينية

anoxxyphotobacteria. وعلى ذلك يمكن إفتراض نوعاً من العلاقة الفيلوجينية phylogenetic relationship بين الكائنات الممثلة للطاقة الضوئية حيث تحتل البكتيريا الضوئية الأوكسيجينية oxyphotobacteria مكاناً وسطاً بين البكتيريا الضوئية اللاوكسيجينية anoxxyphotobacteria من جهة والطحالب من جهة أخرى. وتضم أيضاً السيانوبكتيريا والتي تسمى أيضاً بالطحالب الخضراء المزرقّة Blue green algae عدداً كبيراً من الأجناس من أشهرها جنس *Nostoc* و جنس *Anabeana* حيث يلعب كل منهما دوراً أساسياً في بناء سلاسل الغذاء المائية بجانب تثبيت نيتروجين الهواء الجوى . هذا علاوة على جنس *Spirulina* الذى يستخدم كغذاء أسمى.

12 . Aerobic chemolithotrophic bacteria and organisms

بكتيريا تنمو فقط فى وجود الأكسجين ، سالبة لجرام ، تعيش معيشة معدنية بحتة . تحصل على الطاقة لتثبيت CO_2 من المركبات الغير عضوية (من خلال أكسدة الأمونيا والنيتريت ومركبات الكبريت المختزلة أو الحديدوز) . تشمل هذه البكتيريا عدة مجاميع هى البكتيريا التى تقوم بعملية التآزت nitrifying bacteria المؤكسدة للنيتريت والأمونيا وهى تلعب دوراً هاماً فى دورة النيتروجين وخصوبة التربة . ومنها بكتيريا الكبريت الغير ملونة مثل جنس *Thiobacillus* الذى يلعب دوراً هاماً فى دورة الكبريت . وبكتيريا الهيدروجين وتتميز باستخدام الهيدروجين الجزيئى كمعطى للإلكترون و CO_2 كمصدر للكربون وقد جمعت هذه الأفراد فى جنس وحيد هو *Hydrogenbater* والبكتيريا المرسبة أو المؤكسدة للحديد والمنجنيز وهى تستطيع ترسيب أكاسيد الحديد والمنجنيز خارج خلاياها وأحياناً داخلها . كذلك البكتيريا المغناطسية التى تتحرك فى إتجاه المجال المغناطيسى المحلى، ولها دوراً هاماً فى ترسيب الحديد .

13. Budding and/or appendaged bacteria

يضم هذا الجزء سبعة عشرة جنساً جميعها سالبة لجرام ، كيمواورجانوتروفيه ، بعضها ذات سويقات stalks (stalked) وهى عبارة عن بروزات أو زوائد appendages أو prosthecae ومفردها زائدة prostheca. وهى بروزات شبه صلبة ممتدة من الخلية البكتيرية. ويكون قطرها دائماً أقل من قطر الخلية الناضجة وتكون البروزات محاطة بالجدار الخلوى - وهذه تشمل السويقات الخلوية cellular stalks فى caulobacters وكذلك هيفات hyphae of hyphomicrobia ، لكنها لا تشمل السويقات المفترزة فى حالة جنس : *Nevskia* , *Gallionella*

بعض أفراد هذه المجموعة من البكتيريا تتكاثر بالتبرعم ، والبعض الآخر يتكاثر بالإنقسام الثنائى البسيط أو بهما معاً. والبراعم buds الناتجة قد تكون جالسة sessile (بدون سويقة) أو تتكون فى نهاية خيوط إسطوانية تتكون من طرف الخلايا الناضجة أو من الخيوط التى قد تصل الخلايا ببعضها. وفى بعض الأنواع تتكون حوامل أو مواسك holdfasts لتثبيت تجمعات الخلايا بالأسطح النامية عليها ، وأحياناً تتجمع الخلايا لتكون خيوط قد تتفرع تفرعاً كاذباً. معظم هذه البكتيريا كيمواورجانوتروفيه والبعض كيموليثوتروفي.

تعيش أفرادها فى الأوساط المائية على هيئة تجمعات عتمة من الخلايا، تتصل كل خلية بالأخرى بواسطة خيط أنبوبى ، كذلك تنتشر فى التربة حيث يلعب الكثير منها دوراً هاماً فى أكسدة العناصر مثل الحديد والمنجنيز. وفى جنس *Gallionella* نجد النوع *G. ferruginea* منتشر على نطاق واسع فى المياه الغنية بالحديد وكذلك فى التربة ويسبب مشاكل كثيرة فى مواسير المياه حيث يؤدى إلى تراكم أكسيد الحديد الهلامى القوام، والأخير يسبب قفل الأنابيب والمواسير الموصلة للمياه علاوة على تغيير لون المياه إلى اللون الأحمر. ومن المحتمل أن هذا الميكروب يعيش معيشة كيموليثوتروفيه

chemolithotrophic حيث يؤكسد الحديدوز إلى حديدك وفي نفس الوقت يمثل كميات كبيرة من ك أ. ينمو في بيئات صناعية غير عضوية وفي المياه الفقيرة غذائياً oligotrophic waters في الطبيعة. ويرسب الحديد على صورة ليروكسيد الحديدك في مثل هذه الظروف إذ يصل نسبته أحياناً إلى ٩٥ % من وزن النمو الميكروبي على أساس الوزن الجاف للكتلة الخلوية.

كما أن النوع *Pedomicrobium ferrugineum* يتواجد بكثرة في التربة ويؤكسد الحديدوز مرسباً إياه على صورة ليروكسيد حديدك على الخلايا الأمية mother cells في بداية الأمر ، وفيما بعد يتم الترسيب على بعض الهيفات hyphae الناشئة عن الزوائد prosthecae. ولا يمكن لهذا النوع أن يؤكسد المنجنيز. أما الميكروب *Pedomicrobium manganicum* فيؤكسد المنجنيز ويرسبه في بادئ الأمر على لسطح الخلايا الأمية. ويتواجد هذا النوع بكثرة في الطبيعة ، ولقد عزل في أول الأمر من عينات تربة من منطقة ليننجراد من أماكن كانت تحتوي على رواسب منجنيزية. وهذا النوع البكتيري يعتبر كيموهتروتروفي chemoheterotrophic. أما جنس *Pasteuria* فهو من البكتيريا التي ليست لها بروتات non-prosthecae لكنها تتكاثر بالتبرعم Budding. ولقد إكتشف بيتر هيرش عام ١٩٧٢ النوع *Pasteuria ramosa* حيث عزله من برغوث الماء *Daphnia pulex* وهو من رتبة Cladocera التي تتبع subclass Branchiopoda ، تتبع القشريات قسم مفصليات الأرجل. كما عزله من *Daphnia magna*. والنوع البكتيري المشار له يعد بلا شك ممرضاً لبرغوث الماء.

أما الجنس *Hyphomicrobium* فيتميز بمجموعة خصائص ، منها أن الخلايا مزودة ببروتات prosthecae لها دور في عملية التناسل ، الخلايا تتناسل بالتبرعم. ومن أكثر البكتيريا التي تتكاثر بالتبرعم دراسة وإهتماماً هما

الجنسان : *Rhodomicrobium*, *Hyphomicrobium*. أفراد الجنس الأول منهما تعتبر هتروتروفية (والجنس يعد أحد السبعة عشر جنساً لهذا الجزء part)، أما أفراد جنس *Rhodomicrobium* فتعتبر فوتوتروفية phototrophic. وفيما يلي تلخص مفتاح تصنيف السبعة عشر جنساً التي يشملها هذا الجزء :

أولاً : بكتيريا تكون نواتج الإنقسام الثنائي فيها غير متساوية :

أ - بكتيريا ذات بروزات prosthecae bacteria

١ - البروزات prosthecae لها وظيفة تناسلية ، تكوين الخلايا الجديدة يتم

بعملية تبرعم - تشمل الأجناس التالية *Hyphomicrobium*, *Hyphomones*

Pedomicrobium

٢ - البروزات ليس لها وظيفة تناسلية وتشمل الأجناس التالية :

Asticcacaulis, *Caulobacter*, *Prosthecomicrobium*,
Ancalomicrobium

٣ - قد يكون للبروزات وظيفة تناسلية وهذه تشمل الجنس *Thiodendron*

ب : بكتيريا ليس لها بروزات Non-prosthecae bacteria وهذه يكون

التناسل فيها عن طريق عملية التبرعم وهذه تشمل أجناس *Blastobacter*,

Pasteuria, *Seliberia*

ثانياً : بكتيريا ذات زوائد إفرازية مفرزة excreted appendages ولها مواسك

holdfasts ، نواتج الإنقسام الثنائي قد لا تكون متساوية

أ - تتناسل بالإنقسام الثنائي فقط - وهذه تشمل أجناس *Nevskia*,

Gallionella

ب - تتناسل عن طريق عملية التبرعم وهذه تشمل جنس *Planctomyces*

أجناس غير محددة النسب وهذه تضم أجناس *Caulococcus*,

Metallogenium, *Kusnezovia*

14. The sheathed bacteria

البكتيريا المغمدة عبارة عن كائنات خيطية ذات دورة حياة فريدة تتضمن تكون خلايا سباحة بفلاجلات flagellated swarmer cells وتتراص خلاياها العصوية المستقيمة بنظام طولي بداخل أنبوبة طويلة أو غمد sheath. وتكون الغمد هو أهم صفة تميز هذه المجموعة من البكتيريا ، وربما كانت هذه الخيوط trichomes أشبه حبالاً بالطحالب. وقد تتفرع الخيوط تفرعاً كاذباً ، وقد يحدث أو لا يحدث ترسيب من أكاسيد الحديد أو المنجنيز iron or manganese encrustation أو هما معاً حول الغلاف. والبكتيريا المغمدة شائعة في مواطن المياه العذبة الطينية بمحتواها من المادة العضوية ، والمياه الراكدة ، مثل مياه المجاري الملوثة ، مياه الصرف و المصارف المائية الملوثة بمياه المجاري والمواسير الحديدية ، وحدات الحماية المنشطة Activated sludge plants

الخلايا المفردة المكونة للخيوط filaments عصوية مستقيمة غالباً ، سالبة لجرام ذات حزم من الفلاجلات الطرفية أو التحت قطبية subpolar ، و تشبه في مظهرها أفراد جنس *Pseudomonas* أو تكون الخلايا القرصية في الخيط أسطوانية أو أشبه بالقرص disc-shaped مثل أفراد الأجناس *Phragmidiothrix* *Crenothrix* وتقوم هذه البكتيريا بنشاط كبير في دورة العناصر خاصة (حديد ، منجنيز) في الطبيعة حيث توجد أيضاً في التربة الزراعية. كيمو أورجانوتروفات chemoorganotrophs تتميز بالأبيض التنفسي فهي هوائيات حتماً ولا يمكنها إجراء الأيض التخميري. بعض الأجناس تكون ما يسمى "ماسك hold - fast" كما في جنس *Sphaerotilus* ، ووظيفته تثبيت الخيوط بأسطح البيئات الصلبة النامية عليها، وتسبب هذه الميكروبات القوام المخاطي اللزج حول جدر مواسير المياه وفي النهاية تؤدي الي قفل أو سد هذه المواسير.

وكذلك فإنها مسئولة عن الحالة الضارة المسماة " Bulking " فالكتل المتشابكة من خيوط *Sphaerotilus* تزيد عن حجم الحمأة sludge وتجعلها منتفخة فلا تترسب في أحواض التسوية الأمر الذي يخلق مشاكل عديدة في ترويق الحمأة. والأفراد التي تلعب أدوارا في أكسدة مركبات الحديد تسمى بكتيريا الحديد iron bacteria ، ومن أشهرها الميكروب *Sphaerotilus natans* ولو أن جنس *Leptothrix* يعتبر من مؤكسذات المنجنيز إلا أنه ليس هناك إيه أدلة علي قدرته علي العيش ليثوטרوريا أو حتي ميكسوتروريا ، فهو غير قادر علي النمو في بيئة غير عضوية تماما. تحتوي علي Mn^{2+} كمعدني وحيد للإلكترون في توليد الطاقة. علاوة علي ذلك ، فإن وجود المركبات العضوية في بيئة النمو جنبا الي جنب مع ملح المنجنيز Mn^{2+} لم يؤدي إلي زيادة في كفاءة النمو عما إذا كانت المركبات العضوية موجودة وحدها دون المنجنيز. وعلي ذلك يصبح الدور الذي تلعبه عملية أكسدة المنجنيز ، والفائدة التي تعود علي الميكروب من جرائها غير مفهومة.

ولقد جمعت كل البكتيريا ذات المقدرة علي تكوين الغمد sheath معا في سبعة أجناس هي *Sphaerotilus*, *Leptothrix*, *Streptothrix*, *Lieskeella*, *Phragmidiothrix*, *Crenothrix*, *Clonothrix* وصنفت داخل هذا الجزء علي أساس مجموعة من الخصائص تشمل ما يلي

- ١- حركة الخلايا الفردية أي وجود أو غياب الفلاجلات.

- ٢- ترسيب أكاسيد الحديد أو المنجنيز علي هيئة قشرة بالغمد sheath encrustment.

- ٣- تثبيت أو عدم تثبيت الخيوط stheath attachment بأسطح المواد أو الأوساط الصلبة في بيئة النمو.

- ٤- شكل الخيط عند القمة tip.

15. Non photosynthetic non fruiting gliding bacteria

Order I : Cytophagales; families and genera of uncertain affiliation

Order I : Cytophagales

وبها ١٣ جنسا مصنفة في أربعة عائلات كما يلي :

Family 1 : Cytophagaceae

Cytophaga, Flexibacter, Herpetosiphon, Flexithrix,
Saprospira, Sporocytophaga.

Family 2 : Beggiatoaceae

Beggiatoa, Vitreoscilla, Thioploca

Family 3 : Simonsiellaceae

Simonsiella, Alysiella

Family 4 : Leucotrichaceae

Leucothrix, Thiothrix

Families and genera of uncertain affiliation :

- Genus Toxothrix
- Family Achromatiaceae (Achromatium)
- Fam. Pelonemataceae : Pelonema, Achroonema,
Peloploca, Desmanthos

فجد أن بعض أفرادها كيمولورجياتوتروفي chemoorganotrophs وبعضها كيموليثوتروفي chemolithotrophs (مثل بعض أفراد عائلة Leucotrichaceae) والبعض الآخر ميكسوتروفي mixotrophs. الرتبة تشمل أربعة عائلات تشترك جميعا في عدم قدرتها على تكوين الأجسام الثمرية fruiting bodies ، وهي أهم خاصية تفرقية تميزها عن أفراد رتبة

Myxobacterales. البعض منها يكون مرحلة السكون المعروفة بالميكروسيست microcyst وكذلك تركيب خاص يسمى جونيديات (sing. gonidia gonidium) كوسيلة للحفاظ على النوع بالتكاثر والإنتشار تحت الظروف غير الطبيعية. فالجونيديات يكونها الميكروب عندما تسوء الظروف البيئية وتصبح غير ملائمة للنمو السريع ، وعندئذ تستتير الخلايا الفردية من الخيط وتتحول إلى تراكيب شبه بيضية ovoid structures كل منها يسمى جونيدة gonidium، وهذه تتحرر فردياً - غالباً من أطراف الخيوط. البعض من أفراد الرتبة قادر على تحليل السليلوز بنشاط وبسهولة ، والكثير من هذه البكتيريا يتميز بترتيب خلاياه بنظام طولى يشبه الخيط trichome or filament ، والخيوط قد تكون مثبتة أو ممسوكه من أحد طرفيها attached at one end كما في حالة أفراد عائلة Leucotrichaceae وقد لا تكون مثبتة (غير ممسوكه) not attached كما هو الحال في عائلة Beggiatoaceae تتكاثر الأفراد بحدوث الإنفلاق الخلوى (التثنائى) فى الخلايا فى أى منطقة من مناطق الخيط أو فى الخلايا التى تتواجد مفردة - كما أن التكاثر يتم عن طريق تكوين جونيديات gonidia فى عائلة واحدة وهى Leucotrichaceae ، حيث نجد أن خيوط هذه العائلة غير متحركة إطلاقاً لأنها تكون مثبتة ، لكن خلايا التكاثر التى تعرف بالجونيديات يمكنها القيام بحركة زحفية gliding movement.

والخصائص التصنيفية فى تقسيم هذه الرتبة إلى عائلات تشمل ما يلى :

- ١- الحركة الإنزلاقية للخلايا ، الخيوط والجونيديات.
- ٢- وجود صبغات كاروتينية فمثلاً نجد أن أفراد عائلة Cytophagaceae ملونة pigmented فى حين تكون أفراد العائلة Beggiatoaceae ، Simonsiellaceae غير ملونة nonpigmented.
- ٣- شكل الخلية الخضرية المفردة.

- ٤- وجود أطوار السكون resting stages
٥- وجود الكبريت أو كربونات الكالسيوم في الخلايا.
٦- شكل الخيط filament وإتصاله بالوسط الطبيعي الذي يعيش فيه فعندما تكون خيوط أفراد العائلات Leucotrichaceae, Simonsiellaceae مثبتة لو ممسكة attached نجد أن خيوط أفراد العائلات Beggiatoaceae, Cytophagaceae غير مرتبطة not attached.

وبخصوص عائلة Cytophagaceae فنجد أن الخصائص التصنيفية لأجناسها الستة تتلخص في تكوين الميكروميسيت ، شكل الخلية ، السليلوز والشميتين. ويعتبر جنس *Cytophaga* (family Cytophagaceae) من الأجناس الهامة في تحليل السليلوز في التربة. أفراد هوائيات حتماً إلى لاهوائيات اختياريًا ودرجة الحرارة المثلى تتراوح ما بين ٢٠-٣٠ °م. وتجدر الإشارة إلى أن الأفراد التي تعيش مائياً aquatic cytophagas من هذا الجنس تضم عدداً من الأنواع الممرضة للأسماك. من أكثر هذه الممرضات أهمية *Cytophaga lytica* ، *Cytophaga columnasis* - وهنئ النوعين يرتبطان بالأوبئة الشديدة في أسماك السلمون Salmonid fishes. والسلاطات الضارية من هذه الميكروبات يمكنها إصابة السمك بمجرد اللمس ، الذي يتطور إلى إصابة جهازية سريعة تهلك أعداداً كبيرة من أسماك السلمون الصغيرة fingerlings في المفرخات hatcheries في خلال أيام قليلة.

لما عائلة Beggiatoaceae فتواجد أفرادها في خيوط trichomes ولا يمكن مشاهدة الخلايا المكونة للخيط إلا عقب صبغها - تشبه كثيراً أفراد عائلة Oscillatoriaceae من الطحالب الخضراء المزرقّة فيما عدا غياب الكلوروفيل. وأفراد هذه العائلة تعرف ببكتيريا الكبريت الخيطية عديمة اللون

colorless filamentous sulfur bacteria. وتتشابه أفراد جنس *Beggiatoa* مع أفراد جنس *Oscillatoria* من الطحالب الخضراء المزرقّة ، والخيوط لا تحاط باغلفة - الخيوط متحركة حركة زحفية. أما جنس *Thioploca* ، فالخلايا تكون خيوط مقسمة وتتواجد في حزم متوازية محاطة بغلاف لزج slimy sheath سميك مكون من مواد هلامية لزجة ، وقد تتحرك الخيوط الفردية بداخل الغلاف اللزج السميك حركة زحفيه. أما جنس *Vitreoscilla* فأفراده تشبه أفراد جنس *Beggiatoa* فيما عدا وجود حبيبات الكبريت حيث تكون غائبة من خلايا *Vitreoscilla* حتى لو نمت في بيئة تحتوي على H_2S .

جنس *Beggiatoa* ، *Thioploca* عبارة عن بكتيريا كيموأورجانوتروفية أساساً ، ولكن في حالة وجود مواد عضوية فإنها تؤكسد H_2S وترسب حبيبات كبريت داخلية. ومن الأنواع الشائعة *Beggiatoa alba* - ويوجد بكثرة في مياه المجارى وخاصة الغنية منها بكبريتيد الهيدروجين حيث يحصل على طاقته من أكسدة مركبات الكبريت المتعددة بما فيها يدهك ، كبر ، الثيوكبريتات ، نتراتينات إلى كبريتات SO_4^{2-} . وحاجة هذا الميكروب للأوكسجين ضئيلة ، ويتراوح طول خيطه من 3 ميكرون حتى بضعة ملليمترات. وهذا الميكروب له القدرة على تخزين الكبريت العنصري على صورة حبيبات غروية داخل خلاياه عند توافر يدهك في وسط النمو ، والكبريت المرسب يكسب النمو على الأطباق مظهراً لبنياً مميزاً ، وينمو بضعف عند ضالة أو عدم وجود يدهك.

أما عائلة *Leucotrichaceae* فهي تشابه الطحالب الخضراء المزرقّة في كثير من الصفات - لكن تختلف عنها في عدم وجود صبغات التمثيل الضوئي. الأفراد هوائيات حتماً ، كيموليثوتروفات أو كيموأورجانوتروفات ،

تعيش فى الأوساط المائية. وتحتوى العائلة على جنسان أحدهما *Thiothrix* ومنه النوع المثالى type species المسمى *Thiothrix nivea* ويحتل مكاناً هاماً فى دورة الكبريت فى الطبيعة ، وهو غالباً أوتوتروفي إجباراً obligate autotroph. والجنس الثانى هو *Leucothrix* والنوع المثالى به هو *Leucothrix mucor* وهى ميكروبات كيمولورجانونوتروفية.

لما عائلة Simonsiellaceae فتضم مجموعة من البكتيريا المكونة للخيوط المسطحة flat filaments وتتواجد غالباً فى التجاويف الفمية oral cavities للفقاريات. تحتوى للعائلة على جنسين هما *Simonsiella* ويضم بكتيريا كيمولورجانونوتروفية ذات نظم أيضية تخمرية وتنمو جيداً وبدرجة أفضل فى وجود الدم أو المصل. هوائيات إجباراً ، تتواجد ضمن الفلورا الفمية oral flora أى العشيرة الميكروبية الطبيعية للإنسان والحيوانات. والجنس الثانى هو *Alysiella* ويضم بكتيريا كيمولورجانونوتروفية ذات نظم أيضية تخمرية تنمو بدرجة أفضل فى حالة تواجد الدم أو السيرم ، هوائيات إجباراً تستوطن للتجاويف الفمية للحيوانات ومنها النوع المثالى المعروف *Alysiella filiformis*

16. The fruiting gliding bacteria

Cells aggregate to form fruiting bodies under suitable environmental conditions

Order : Myxobacterales

The Gliding bacteria

تتميز البكتيريا التى تتبع هذا الجزء بمرونة جدر الخلايا ، وأيضاً بنوع من الحركة الإنزلاقية gliding movement على السطوح الصلبة

النامية عليها. ولقد صنفت هذه البكتيريا في رتبتين two orders وبعض العائلات والأجناس غير محددة النسب - على النحو التالي :

Order I : Myxobacterales

وبها ثمانية أجناس مصنفة في أربعة عائلات كما يلي :

Family 1 : Myxococcaceae (Myxococcus)

Family 2 : Archangiaceae (Archangium)

Family 3 : Cystobacteraceae (Cystobacter, Melittangium, Stigmatella).

Family 4 : Polyangiaceae (Polycengium, Nannocystis, Chondromyces).

للخلايا المفردة عصوية أو إسطوانية ذات حواف مستديرة وأحياناً حادة، تتكاثر بالإنقسام الثنائي البسيط العرضي ، سالبة لجرام ، كيمو أورجانوتروفيك ، هوائية حتماً ، تحصل على طاقتها بالتنفس. عندما تنمو في ظروف بيئية طبيعية فإن الخلايا تتجمع لتكون ما يسمى " الأجسام الثمرية أو الحوصلات fruiting bodies or cysts " وهذه يمكن رؤيتها بالعين المجردة ، وتكون داخلها أو عليها الحوصلات microcysts - والأخيرة عبارة عن خلايا بيضية أو مستديرة وتعتبر طوراً للسكون resting stage. وتتكون الأجسام الثمرية من تجمع عديد من الخلايا الخضرية والتي تتماسك مع بعضها بالمواد المخاطية slime المميزة لها والتي تفرزها في معظم الأحيان.

والإحتياجات الغذائية لها غير معروفة على وجه الدقة ، ولكن معظم الأفراد المعروفة قد تتواجد بالتربة الزراعية والسماد البلدي ، وتنمو هذه الميكروبات بسرعة على المواد النباتية المتحللة والسباخ البلدي. معظمها لا ينمو أو ينمو بضعف على البيئات البكتيريولوجية المعملية العادية ، فعزلها

في صورة مزروع نقية يعتبر أمراً في غاية الصعوبة. وقد تصنف بكتيريا هذه الرتبة إلى مجموعتين فسيولوجيتين - هما :

١- محللات البكتيريا Bacteriolytic ones : وهي تلك القادرة على إذابة وهضم بكتيريا من أنواع أخرى حيث تتغذى عليها وهذه المجموعة تشمل عائلات Cystobacteraceae ، Archangiaceae ، Myxococcaceae ومعظم أفراد العائلة للرابعة (Polyangiaceae).

٢- محللات السليلوز Cellulolytic ones : وهي التي تحلل السليلوز ، وهذه مجموعة في عائلة Polyangiaceae. ولذا يمكن عزل أفراد المجموعة الأولى وتتميتها في المعمل على مزروع بكتيرية. ويبدون نموها للغزير في السماد البلدي راجع إلى إحتوائه على نسبة كبيرة من البكتيريا التي تتغذى عليها. ومن الخصائص التصنيفية لهذه الرتبة إلى عائلات ما يلي :

- ١- شكل الخلية الخضرية وشكل حوافها.
- ٢- وجود الميكروسيست microcyst وشكله.
- ٣- وجود سبورانجيات sporangia (sing. Sporangium) تضم بداخلها الميكروسيستات microcysts.
- ٤- تشابه الميكسوسبور myxospore بالخلايا الخضرية.

تجدر الإشارة إلى أن عائلة Polyangiaceae تحتوى على بعض الطفيليات parasites مثل Polyangium parasiticum لدرجة أنه لا يمكن زراعته على بيئة صناعية ، وينمو هذا النوع فقط على طحلب كلانوفورا Cladophora في الماء. في بداية الأمر يعيش الميكروب خارجياً على الطحلب كمتروم saprophyte ثم لا يلبث أن يدخل خلايا الطحلب مدمراً إياها. وأول ما عرفت تلك الظاهرة كانت في أحد البرك في فيينا (النمسا). والأسبورانجيات في أفراد جنس Polyangium تكون جالسة sessile مفردة لو في تجمعات.

17. Gram Positive Cocci

ویدخل تحت هذا القسم ثلاث عائلات تضم إثنى عشر جنساً بكتيريا مصنفة على الوجه الآتى :

A- Aerobic and / or facultatively anaerobic

Family I : Micrococcaceae

Genus 1 : *Micrococcus*

Genus 2 : *Staphylococcus*

Genus 3 : *Planococcus*

Family II : Streptococcaceae

Genus 1 : *Streptococcus*

Genus 2 : *Leuconostoc*

Genus 3 : *Pediococcus*

Genus 4 : *Aerococcus*

Genus 5 : *Gemella*

B- Anaerobic

Family III : Peptococcaceae

Genus 1 : *Peptococcus*

Genus 2 : *Peptostreptococcus*

Genus 3 : *Ruminococcus*

Genus 4 : *Sarcina*

وفيما يلي سوف نناقش هذه الوحدات التقسيمية :

أولاً : عائلة الـ Micrococcaceae : الخلايا كروية spherical ذات أقطار ٠,٥-٣,٥ ميكرون ، تتميز بأن الانقسام الثنائي يحدث فيها فى أكثر من مستوى واحد ، فتكون نظم تجمع الخلايا الناتجة عبارة عن تجمعات منتظمة أو غير منتظمة أو مكعبات. متحركة أو غير متحركة ، كيمولورجانونوتروفيه

تحصل على طاقتها بالتنفس أو بالتخمير. إذا استخدمت الجلوكوز تنتج منه حمض بدون غاز. متطلباتها الغذائية متنوعة. جميع السلالات يمكنها النمو في وجود ٥ % ص كل ، والكثير منها ينمو في وجود ١٠-١٥ % ص كل. موجبة للكتاليز ، هوائيات أولاهوائيات إختياراً. نسبة الجوانين والسيتوزين (G+C) في الـ DNA تتراوح ما بين ٣٠ و ٧٥ مول % ، الجنس المثالي type genus للعائلة هو *Micrococcus*

Genus 1 : *Micrococcus*

تتميز خلايا أفراد هذا الجنس بأنها ذات أقطار ٠,٥-٣,٥ ميكرون ، كيمو اورجانوتروفي chemoorganotrophs ذات نظام أيضي تنفسي حتماً strictly respiratory. نظام انتقال الإلكترونات electron transport system يتكون من الميتاكوينونات menaquinones والسيتوكرومات cytochromes ، وقد توجد صبغات كاروتينية. ويعتبر الأوكسجين هو المستقبل العام للإلكترون. يمكن لأفراد الجنس استخدام مجموعة كبيرة من مركبات الكربون مثل البيروفات ، الخلايا ، لاكتات ، سكسينات ، جلوتامات وكربوهيدرات. يؤكسد الجلوكوز أساساً إلى خلايا أو أكسدة تامة إلى ك_٢ + يد_٢. يتم أيض الجلوكوز عن طريق إنزيمات مسار الهكسوز أحادي الفوسفات Hexose mono phosphate HMP pathway ودورة حمض الستريك TCA cycle. وقد يوجد أيضاً دورة فعالاً لدورة cycle glycolysis. حمض التيكويك teichoic acid غير شائع في هذه البكتيريا. سالبات لإختبار الإندول ، موجبات للكتاليز ، هوائيات ، درجة الحرارة المثلى ٢٥-٣٠ °م. جميع أفراد الجنس تنمو في وجود ملح كلوريد الصوديوم حتى تركيز ٥ % . أفراد الجنس تستوطن التربة والمياه العذبة بطريقة عادية،

كثيراً ما تتواجد على جلد الإنسان والحيوانات الأخرى، النوع المثالي type species للجنس هو *Micrococcus luteus*

Genus 2 : *Staphylococcus*

أفراده ذات خلايا كروية spherical أقطارها ٠,٥-١,٥ ميكرون ، تتواجد مفردة ، في أزواج ، وتتقسم بطرق تميزها في أكثر من مستوى واحد لتكون تجمعات غير منتظمة أشبه بعناقيد العنب ، غير متحركة. يحتوى الجدار الخلوى على مكونين أساسيين هما : الببتيدوجليكان peptidoglycan وأحماض التيكويك teichoic acids المرتبطة معه. علاوة على هذا توجد مواداً أنتيجينية antigenic من سكريات عديدة polysaccharides وبروتينات. الأفراد كيمو اورجانوتروفيه ذات أيض تنفسى وتخمرى ، تنتج الكتاليز ، نظام النقل الإلكتروني يتكون من الميناكوينيونات menaquinones وسيتوكرومات a, b, o. وقد توجد صبغات كاروتينية. الأوكسجين المستقبل النهائى العام للإلكترون. يمكنها أن تستفيد من عدد كبير من الكربوهيدرات ، خاصة فى وجود الهواء مع إنتاج حمض بدون غاز، وتحت الظروف اللاهوائية ، فإن الناتج الأساسى لتخمير الجلوكوز هو حمض اللاكتيك ، ولكن فى وجود الهواء فإن الناتج الأساسى يكون حمض الخليك ومعه كميات قليلة من ك أ. عادة ما يتكون الأسيتوين "acetoin" a.m.c كمنتج نهائى end-product لأيض الجلوكوز.

تفرز ميكروبات الجنس إنزيمات خارج الخلية extracellular وتوكسينات thermostable exotoxins تقاوم الغليان لأكثر من ٣٠ دقيقة فى الوسط. فهي كثيراً ما تمتلك المقدرة على تحليل كثير من المواد البروتينية والدهنية ، لها المقدرة على تحليل الهيبورات hippurate والأرجنين. لا تنتج الإندول ، لاهوائيات إختياراً لكن النمو يكون أسرع وأغزر تحت الظروف

الهوائية ، درجة الحرارة المثلى ٣٥-٤٠ م°. الحموضة المثلى هي من pH ٧,٥-٧,٠. معظم السلالات تنمو في وجود تركيز من ملح ص كل قدره ١٥ % أو ملح الصفراء بتركيز ٤٠ %. ترتبط أساساً في تواجدها بالجلد وغدد الجلد skin glands والأغشية المخاطية للحيوانات نوات الدم الحار warm-blooded animals. تعتبر أفراد الجنس عوائلًا hosts لكثير من البكتريوفاجات bacteriophages.

المجال العوائلى للإستافيلوكوكات واسع ، وكثير من السلالات تعتبر ممرضات كامنة potential pathogens. الأماكن التى تستوطنها هذه الميكروبات مثل الجلد والأغشية المخاطية تعتبر مسئولة عن نسبة كبيرة من الإصابات التى تحدث للإنسان والتى تسمى فى أحوال كثيرة إصابات ستاف staph infections. يضم الجنس (*Staphylococcus*) حوالى ١٩ نوعاً لكن أكثرهم أهمية كممرضات للإنسان هي الأنواع التالية :

١- *S. aureus*

٢- *S. epidermidis* (وقد يسمى أحياناً *S. albus*)

٣- *S. saprophyticus*

ويعتبر *S. aureus* وهو النوع المثالى type species أكثر الثلاثة خطورة من الناحية الإمراضية خاصة وقد تزايدت الأدلة على مصاحبة الإثنين الأخيرين لحالات إصابة أى توافرت الأدلة على إعتبارهما ممرضات فرصية ولم يعد ملائماً النظر إليهما كما كان سابقاً كمعايشات غير ضارة harmless commensals

ولقد عزل *Staphylococcus aureus* فى البداية من للصيد pus الذى يخرج من الجروح ، وهو يتواجد فى الأغشية الأنفية ، جريبيات الشعر، جلد و شرج الحيوانات نوات الدم الحار. سلالات هذا الميكروب تعتبر

ممرضات كامنة تسبب أنواعاً كثيرة من الإصابات infections والتسممات ، osteomyelitis ، furunculosis ، meningitis ، boils ، intoxications ، suppuration of wounds ، abscesses ، pyemia food poisoning الذى يعرف بالتسمم الإشتافيلوكوكى staphylococcal poisoning أو staphylococcism. وتتخلص أعراض التسمم الإشتافيلوكوكى فى الغثيان ، القيء ، المغص ، الإسهال ، الإعياء بصفة عامة. وتحدث هذه الأعراض بصورة حادة لمدة ساعات فقط. وفترة الحضانة وهى الفترة التى تمر بعد تناول الغذاء المحتوى على التوكسين الخاص بالتسمم الإشتافيلوكوكى تتراوح بين ١ إلى ٧ ساعات ، وعادة تكون ٣ إلى ٦ ساعات.

ثالثاً : عائلة Streptococcaceae

الخلايا كروية spherical أوبيضية ovoid فى أزواج pairs أو سلاسل chains ذات أطوال متباينة أو فى أربعات tetrads. غير متحركة أو نادراً ما تكون متحركة. كيموورجانونوتروفيه بنظام أيضى تخمري ، مكونه أحماض لاكتيك ، خليك ، فورميك ، وكذلك الإيثانول و ك_٢ من الكربوهيدرات. المتطلبات الغذائية معقدة ومتباينة. نتيجة اختبار الكتاليز متغيرة variable ، البنزيدين benzidine سالب. لاهوائيات اختياريًا ، تحتوى العائلة على خمسة أجناس ، المثالى هو Streptococcus.

العائلة تعتبر مهمة من الوجهة الغذائية و الطبية ، حيث لن أغلبها تخمر سكر الجلوكوز منتجه منه حمض لاكتيك أساساً مع آثار ضئيلة من حمض الخليك والإيثانول و ك_٢ وهذه تسمى متجانسات التخمر Homofermentatives مثل أفراد أجناس Streptococcus, Pediococcus, Aerococcus. والبعض الآخر من هذه العائلة ينتج من التخمر كميات تكاد متوازنة من حمض اللاكتيك والخليك والإيثانول و ك_٢ وهذه تسمى خليطات

التخمير Heterofermentatives مثل أفراد جنس *Leuconostoc*. كما أن هناك الكثير من الإستربتوكوكات streptococci ويعتبر هام جداً من الناحية الطبية ، مثل الكثير من أفراد جنس *Streptococcus*

Genus 1 : *Streptococcus*

خلايا كروية إلى بيضية ذات أقطار أقل من ٢,٠ ميكرون (وتختلف باختلاف النوع) ، تتواجد على هيئة أزواج أو سلاسل عند تنميتها في بيئات سائلة. عادة تكون السلالات المتحركة في المجموعة السيرولوجية D. كيمو اورجانوتروفي بنظام أيضي تخمري. والناج الرئيسي السائد من تخمر الجلوكوز هو حمض لاكتيك يميني الدورة dextrorotatory (متجانس التخمير homofermenters) ، بعض الأنواع تخمر الأحماض العضوية مثل ماليك وستريك والأحماض الأمينية مثل سيرين وأرجنين. توجد الصبغات في المجموعة B , D فقط وعادة حمراء أو صفراء.

النمو القشري pellicles لا تتكون أبداً. لا تحتوي على مركبات الهيم heme compounds ، سالبة للبنزيدين benzidine وسالبة للكتاليز. لاهوائيات إختياراً. قد يغير الأوكسجين أو أي مستقبلات أخرى من طبيعة المنتجات النهائية end products لأيض الكربوهيدرات. قد يتراكم فوق أكسيد الأيدروجين في حالة وجود الأوكسجين. المتطلبات الغذائية الدنيا (M.N.R) بصفة عامة معقدة لكنها متغيرة وقد تشمل على أحماض أمينية ، بيورينات ، بيريميدينات ، ببتيدات ، فيتامينات وأحياناً أحماض دهنية ومحتوى عالي من ك^{٢٠}. وعلى الناحية الأخرى فإن سلالات نوع واحد (*Streptococcus bovis*) قد تتطلب فقط جلوكوز وأملاح غير عضوية وملح أمونيوم لكي تنمو. درجة الحرارة المثلى حوالي ٣٧ °م تقريباً. النوع المثالي type species للجنس هو *Streptococcus pyogenes*

ولقد وضع شيرمان J.M. Sherman سنة ١٩٣٠ تصنيفاً بيوكيميائياً للإستربتوكوكات ثم قامت ريبيكا لانسفيلد Rebecca Lancefield عام ١٩٣٣ بعمل تصنيف لهذه البكتيريا والطبية منها بصفة خاصة مستند إلى وجود أنتيجينات معينة في أو على جدرها الخلوية ، حيث لاحظت أنه بوضع هذه البكتيريا في حمض مخفف (pH2) والتسخين عند درجة ١٠٠°م لمدة ١٠ دقائق يخرج من جدرها مادة كربوهيدراتية ذائبة لها صفة أنتيجينية antigenic ، وأطلقت على هذه المادة اسم "C carbohydrate". ووجدت أنه يمكن إستخراج هذه المادة من الخلايا بواسطة الفورماميد formamide مع التسخين عند ١٥٠°م لمدة ١٥ دقيقة. وجميع الإستربتوكوكات بإستثناء مجموعة الفيريدانس viridans group تمتلك هذه المادة الكربوهيدراتية. وعلى ضوء التنوع الأنتيجيني للمادة الكربوهيدراتية في عديد من العزلات الإستربتوكوكية أمكن عمل ١٣ مجموعة ، سميت مجموعات لانسفيلد Lancefield groups رمز لها بالحروف A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M, N, O. ومن ثم ، فإن الإستربتوكوكات في مجموعة A تمتلك نفس المادة الكربوهيدراتية الأنتيجينية antigenic C carbohydrate. والبكتيريا في المجموعة B أيضاً تمتلك نفس الطراز من المادة فيما بينها ، ولكن يختلف عن طراز المادة في المجموعة A. علاوة على ذلك ، وجد أن أفراد كل مجموعة يكون لها نفس الموطن ، فمثلاً المجموعة A تضم ممرضات للإنسان أساساً ، المجموعة B تضم ممرضات للماشية والإنسان ، وهكذا. وهناك تقسيماً آخر للأنواع بهذا الجنس (*Streptococcus*) يقوم على التفاعل الحادث في بيئة أجار الدم ، فهناك أنواع يمكنها عمل منطقة تحلل من طراز B أي B-hemolysis على أجار دم الأغنام ، وهذا النوع من التفاعل يميز أفراد مجموعة لانسفيلد A, B, C وبعض سلالات من D.

وهناك أنواع لها القدرة على عمل تفاعل أو تحلل لكرات الدم من نوع ألفا- α -hemolysis وهذه تشمل *Streptococcus pneumoniae* و *viridans streptococci*. وهناك أنواعاً لا تحدث أى نوع من التحلل لكرات الدم ، لكنها غير ذات فائدة من الناحية الإكلينيكية.

وفيما يلي موجزاً عن تقسيم شيرمان لأفراد الجنس إلى أربعة مجموعات :

1- The Pyogenic group

وتتضمن هذه المجموعة أنواعاً ممرضة وتسبب التهاب الضرع فى الأبقار وعديداً من الأعراض المرضية فى الإنسان بدءاً من القرح التعفنفة فى الزور إلى الحمى الروماتزمية والتهاب الكلى نو الحبيبات glomerulonephritis مروراً بالتهاب البلعوم pharyngitis والحمى القرمزية. ومن أفراد هذه المجموعة ميكروب *Streptococcus pyogenes*

2- The Viridans group

أفراد هذه المجموعة هامة فى صناعات الألبان ومنتجاتها - ومن أمثلتها ميكروب *S. thermophilus* لا تنمو أفراد هذه المجموعة عند درجة ١٥° م ولكن تنمو عند ٤٥° م.

3- The Lactic group

تحتوى هذه المجموعة على بكتيريا الألبان الهامة ، مثل *S. lactis* ، *S. cremoris* وتنمو عند درجة ١٥° م ولا تنمو عند درجة ٤٥° م ، ولا تتحمل ملوحة أكثر من ٢-٤ % ص كل.

4- The Enterococcus group

من أفراد هذه المجموعة *S. faecalis* (*Enterococcus faecalis*) ويعتبر من الأدلة الميكروبية الجيدة فى الكشف عن التلوث البرازى فى المياه أو الأغذية خاصة إذا لم تفيد نتيجة فحص العينات عن بكتيريا الكوليفورم ، أو فى حالة صعوبة تفسير النتائج. ومميزات أفراد هذه المجموعة أنها تقاوم

حرارة البسترة حيث تتواجد في اللبن المبستر ، تتحمل ملوحة تصل إلى ٦,٥ % أو أكثر من ص كل بعكس المجموعات الثلاثة السابقة ، وتستطيع النمو عند ٩,٦ pH ، وتنمو في نطاق واسع من درجات الحرارة ، فبعضها ينمو عند ٥-٨ °م ، وأغلبها ينمو عند ٤٨-٥٠ °م وتتوطن في أمعاء الإنسان والحيوان ، ومن هنا يعتمد عليها كدليل كشفى لتلوث الأغذية أو المياه بالمواد البرازية أو مياه المجارى. على الرغم من كثرة أعداد أنواع الإستربتوكوكات *Streptococcus* إلا أن مرض الإنسان غالباً ما يرتبط بالأنواع :

- 1- *Streptococcus pyogenes* 2- *Streptococcus agalactiae*
- 3- *Viridans streptococci* 4- *Streptococcus pneumoniae*
- 5- *Enterococcus faecalis*

والنوع الأخير *E. faecalis* كان يسمى سابقاً *Streptococcus faecalis* إلى أن درست الخصائص التهجينية للـ DNA وثبت منها أنه لا بد من فصله في جنس مستقل جديد.

ثالثاً : عائلة *Peptococcaceae*

أفراد العائلة كرويات cocci تتفاوت أقطارها من ٠,٥-٢,٥ ميكرون للخلية. تتواجد مفردة ، في أزواج ، أربعات أو تكتلات غير منتظمة وأحياناً على صورة تجمعات مكعبة الشكل ، الفلجالات ، الحركة ، والجراثيم الداخلية غير موجودة ، لاهوائية. كيمو أورجانوتروفيه ذات متطلبات غذائية معقدة. يتكون الغاز الذي تنتجه أساساً من ك_٢ ، وعادة تنتج يد_٢ في المزارع من الأحماض الأمينية أو الكربوهيدرات أو منهما معاً. توجد هذه البكتيريا في الفم وفي الأجهزة المعوية والتنفسية للإنسان والحيوانات الأخرى، وكثيراً ما توجد في الإنسان بالمسالك البول تناسلية لحالات طبيعية وكذلك مرضية للإناث. تحتوى العائلة على أربعة أجناس هي

Peptococcus, Peptostreptococcus, Ruminococcus, Sarcina

18. Endospore-forming Gram-positive rods & cocci

تضم هذه المجموعة كل البكتيريا التي تتميز بخاصية تكوين الجراثيم الداخلية . ولقد جمعت هذه البكتيريا في عشرة أجناس هي ١- *Amphibacillus* و ٢- *Bacillus* و ٣- *Clostridium* و ٤- *Desulphotomaculum* و ٥- *Oscillospora* و ٦- *Sporohalobacter* و ٧- *Sporolactobacillus* و ٨- *Sporosarcina* و ٩- *Sulfidobacter* و ١٠- *Syntrophospora* . أفراد جنس *Bacillus* هوائية توجد بكثرة في التربة الزراعية ، كما تظل جراثيمه ساكنة في التربة مئات السنين . يسبب النوع *B. anthracis* الحمى للفحمة للحيوانات والإنسان . ويسبب النوعان *B. popilliae* و *B. lentimorbus* مرض milky-white disease لحشرات الخنفساء اليابانية (Japanase beetles) ولذلك تستخدمان في المقاومة الحيوية biological control لهذه الحشرات . ويسبب النوع *B. alvei* مرض Foulbrood لنحل العسل ، ويستخدم النوع *B. thuringiensis* في مقاومة الحشرات التابعة لعدة رتب . وكذلك يستخدم النوع *B. Sphaericus* في مقاومة يرقات البعوض من جنس *Culex* , *Anopheles* بيولوجيا . وتنتج بعض أنواع جنس *Bacillus* مضادات حيوية هامة مثل Polymyxin و Bacitracin . بعض أفراد الجنس تستخدم كسمدة حيوية مثل *B. megatherium* var. *phosphaticum* حيث يقوم بإذابة الفوسفات غير الذائبة بالتربة و *B. circulans* الذي يحرر السليكون واليوتاسيوم من معادن الطين السليكاتية .

أما جنس *Clostridium* فأفراده لا هوائية إجباراً تعيش في القنأة الهضمية للحيوانات وفي المجارى وفي التربة ، وتسبب بعض أنواعه أمراضاً للإنسان مثل التتanos (*C. tetanus*) والغرغاريينا الغازية (*C. perfringens*) كما يسبب النوع *C. botulinum* وهو نوع خطر وغالباً

قاتل نوع من التسمم الغذائي يعرف بالتسمم البوتشولينى botulism . أما النوع *C. pasteurianum* فيفيد فى زيادة خصوبة التربة بتثبيت النيتروجين الجوى بطريقة حرة تحت الظروف اللاهوائية . أما جنس *Sporosarcina* فتتشر أفراده بكثرة فى التربة الخصبة ، ويلعب أحد أنواعه *S. ureae* دوراً نشطاً فى تحليل اليوريا .

19. Regular, nonsporing Gram-positive rods

هى عصويات مستقيمة تتميز خلاياها بمظهر موحد دون إنتفاخات أو تفرعات أو أى تباينات خلوية أخرى ، قد يوجد بعضها فى تراكومات . تضم هذه المجموعة عدة أجناس منها جنس *Lactobacillus* وهو من الفلورا الطبيعية للمعدة ويستخدم فى المخمرات الغذائية ويعرف ببكتيريا حامض اللاكتيك العصوية ولا يستطيع أفراده تكوين معظم إحتياجاتها من الفيتامينات ولذلك تستخدم فى الكشف عن محتوى الأغذية من الفيتامينات فيما يسمى بالتقديرات الحيوية Bioassay و جنس *Listeria* الذى يسبب أمراض *Listeriosis* للإنسان والحيوان . و جنس *Renibacterium* الذى يتطفل على أسماك السلمون ويسبب مرض Kidey disease .

20. Irregular, nonsporing Gram-positive rod

عصويات منحنية قليلاً متعددة الأشكال polymorphic ، تظهر خلاياها إنتفاخات ، أو قد يكون لها دورة نمو تختلف فيها أشكال الخلايا من الكروى إلى العصى ، وقد تأخذ الخلايا شكل خيطى فى مرحلة من دورة حياتها . تضم المجموعة عدد كبير من الأجناس منها جنس *Corynebacterium* الذى يسبب الدفتيريا للإنسان و جنس *Cellulomonas* وهو من محلات السليولوز ، و جنس *Propionobacterium* الذى يستخدم فى إنتاج الغذاء . و جنس *Brevibacterium* المقاوم للملوحة والذى يتميز

بمستعمراته البرتقالية وعادة يوجد على سطح جبن الـ Brick والـ Limburger حيث يبرز البروتين الذي يساعد في تسويتها .

21. Mycobateria

هي بكتيريا هوائية غير متحركة ، عصويات منحنية قليلاً أو مستقيمة تبدى درجة من التفرع أحياناً موجبة لجرام معظمها صامدة للأحماض . تحتوى جدرها الخلوية على أحماض ميكوليك تتألف من ٩٠ ذرة كربون . تحتوى هذه المجموعة على جنس وحيد *Mycobacterium* تسبب أنواعه العديدة لمرض السل tuberculosis والجذام leprosy والالتهاب الرئوى penumonia .

22. Nocardioform actinomycetes

يشير مصطلح Nocardioform لاكتينوميستات ذات ميسيليوم يتكسر (يتجزأ) إلى وحدات كروية وعصوية . كثيراً ما تحتوى على كميات كبيرة من الليبيدات فى أغلفتها الخلوية ، صامدة للأحماض ، تضم عدد كبير من الأجناس أهمها *Nocardia* الذى يسبب امراضاً رئوية وجلدية .

23. Actinomycetes with multiocular sporangia

بكتيريا تكون خيوط متفرعة تنقسم بحواجز طويلة وعرضية تؤدي إلى وحدات شبه كروية . تضم عدداً محدوداً من الأجناس أهمها *Frankia* الذى يثبت النيتروجين تكافلياً فى عقد على جذور النباتات الخشبية مثل أشجار الكازورينا ويلعب دوراً هاماً فى خصوبة تربة أراضي الغابات بصفة خاصة .

24. Actinoplanetes

بكتيريا تتكون جراثيمها داخل حويصلات vesicles جرثومية أو حوافظ إسبورانجية sporangia ، ولها هيفات مقسمة ومتفرعة ولا يتجزأ، تضم خمسة أجناس منها *Micromonospora* الذى ينتج منه الـ Gentamicin .

25. Streptomycetes and related genera

بكتيريا هامة من الوجهة العلاجية ومن ناحية ومن ناحية إنتاجها لنواتج أيضية مفيدة . مؤكسدة عالية ، تكون ميسليوم هوائى وأرضى غزير التفرع . تضم جنس *Streptomyces* إلى جانب ثلاثة أجناس أخرى ، يعتبر جنس *Streptomyces* هو الجنس المثالى وهو هام فى إنتاج المضادات الحيوية والتي لها دورا هاما فى التوازن الميكروبي بالتربة إلى جانب دورها العلاجى للأمراض . كما تسبب بعض أنواعه أمراضا للنباتات كالجرب العادى فى البطاطس common potato scab الذى يسببه *S. scabies* وهذا يعتبر دورا سلبيا فى الطبيعة .

26. Maduromycetes

بكتيريا تحتوى على سكر madurose فى جذرها الخلوية ، تكون ميسليوم أرضى متفرع لا يحمل جراثيم ولكن يحمل هيفات هوائية تتميز إلى سلاسل قصيرة من الجراثيم المفصليّة أو الحواظ الإسبورانجية التى تحوى من جرثومة إلى عدة جراثيم ومن أمثلتها *Microbispora* و *Streptosorangium* .

27. Thermomonospora and related genera

بكتيريا ميزوفيلية وثرموفيلية تحتوى جذرها الخلوية على meso-diaminopimelic acid ، تنتج جراثيم (ليست جراثيم داخلية) تتوالد على الهيفات الأرضية والهوائية ، تضم جنس *Thermomonospora* وثلاثة أجناس أخرى قريبة الشبه به .

28. Thermactinomycetes

بكتيريا ثرموفيلية تحتوى جذرها الخلوية على meso-diaminopimelic acid ، تتوالد جراثيم مفردة على الهيفات لها نفس

تركيب الجراثيم الداخلية ، تحتوي على جنس وحيد هو

Thermoactinomyces

29. Other genera of Actinomycetes

تشمل هذه المجموعة الأكتينوميستات التي تم إكتشافها حديثاً ولم يتم دراستها دراسة مستفيضة بغرض وضعها في أى من مجاميع الأكتينوميستات سابقة الذكر .

30. Mycoplasma

بكتيريا تقتصر إلى الجدر الخلوية ، تحاط خلاياها من الخارج بالأغشية السيتوبلازمية ، لذلك تتميز الخلايا بالمرونة ، وبأشكالها المظهرية المتعددة ، من الكروي وحتى الخيطي المتفرع . تسمح المرونة للكثير من الخلايا بالمرور خلال الأغشية البكتريولوجية . الميكوبلازما حساسة للتحلل بالصدمة الاسموزية التي تحدث على أثر تخفيف وسط النمو بالماء ، وبسبب غياب الجدار الخلوى لا تثبط الميكوبلازما بالتركيزات المرتفعة من البنسلين، لكن يمكن تثبيطها بالمضادات الحيوية الأخرى التي تؤثر على البروتين كالتراسيكلين والكلورامفينيكول . يمكن زراعة الميكوبلازومات *in vitro* على لوساط غير حية غنية كبكتيريا لا هوائية أو إجباراً ، يبلغ حجم الجينوم genome بها ٢٠-٥٠ % من مثيله بالبكتيريا الأخرى التي تستطيع النمو على الأوساط الغير حية ويفسر هذا سبب إحتياجاتها الغذائية المعقدة وقدرتها التخليقية المحدودة . تشاهد مستعمراتها على الأجار بعنسة المجهر الصغرى كمستعمرات صغيرة جداً مطمورة في سطح الأجار وعادة لها مظهر البيض المقلى . ومن أجناسها الهامة *Mycoplasma* الذي يحدث الـ *pneumonia* وجنس *Ureaplasma* الذي يسبب الـ *urethritis* .

II. Archaeobacteria

تضم الأرشيا بكتيريا المجاميع من ٣١ وحتى ٣٥ وهى تتبع البروكاريوتات Procarytes ، إلا أنها تختلف عن البكتيريا الحقيقية Eubacteria فى أنها لا يوجد بجدرها الخلوية بليبيدات غشائها السيتوبلازمى أحماض دهنية طويلة السلسلة مرتبطة بالجليسرول بروابط الإستر ester لكن يوجد كحولات متفرعة طويلة السلسلة (phytanols) مرتبطة بالجليسرول بروابط الإثير ether . وتختلف فى الخصائص المتعلقة بتخليق البروتين ففيها يعتبر الميثيونين هو أول حمض أمينى يبدأ سلسلة بولى ببتيد جديدة (يقابله N-Formylmethionine فى البكتيريا الحقيقية) كما أن عملية Translation process تكون حساسة لفعل سم الدفتيريا فى حين لا تتأثر بالكلورامفينيكول حيث يقابل ذلك تأثيرات عكسية فى البكتيريا الحقيقية .

31. Methane Producing bacteria :

يدخل تحت هذا القسم مجموعة من البكتيريا ، خلاياها مفردة عصوية لو كروية ، متحركة أو غير متحركة ، موجبه لو سالبة لجرام ، لاهوائيات إجباراً ، تحصل على طاقتها من عملية تكوين الميثان Methanogenesis (biomethane formation or biomethanation) عن طريق إختزال ك^٢ مستغلة بذلك الإلكترونات المنبعثة من خلال أكسدة مركبات مثل الفورمات والأيدروجين أو من تخمر مركبات عضوية مثل الخل والميثانول وتكون الميثان و ك^٢ والماء. وبعض هذه الميكروبات تستعمل ك^٢ فى أكسدة كحول الإيثايل أو الأيدروجين لإنتاج الميثان. ولقد أمكن فى الحالة الأولى إثبات أن تكوين الميثان ينشأ من ك^٢ وليس من الكحول كما دلت دراسات النظائر المشعة فى هذا الشأن.

وهذه البكتيريا وصفت فى عائلة واحدة هى : Family

Methanobacteriaceae

والتي تضم ثلاثة أجناس يمكن التفرقة بينها على أساس أشكال الخلايا ونظم تجمعها. ويطلق على هذه البكتيريا مسميات كثيرة منها : Methane bacteria, Methanogenic bacteria, Methane formers, Methanogens. ولقد ثبت أنها ذات أشكال مورفولوجية وتراكيب مختلفة ، وذات درجة عالية من التخصص في مصادر حصولها على الطاقة. وتحتاج إلى ظروف لا هوائية حتمية جداً very strict anaerobes لكي تنمو ، بل أنها تتعرض للموت بسرعة على أثر فترات ضئيلة جداً من التهوية مقارنة بغيرها من اللاهوائيات. وعلى أية حال فإن لها صفات مزرعية وفسيولوجية متشابهة ، ولقد ثبت أنها تحتوى على مركب فلوريسنتى fluorescent compound يرمز له به F_{420} يعمل كحامل للأيدروجين Hydrogen carrier. وهذا المركب الفلوريسنتى لم يوجد قط في أي كائنات دقيقة أخرى. وبسبب خاصية الوميض العالية strong fluorescence فيه ، فإن بكتيريا الميثان يسهل التعرف عليها وتمييزها في ميكروسكوب الوميض fluorescence microscope

ورغم أن بكتيريا الميثان تعد بروكاريوتية procaryotic ، إلا أنها تختلف في منشأها وتطورها الوراثي أي أنها تعد phylogenetically different عن البكتيريا القياسية أو غالبية البروكاريوتات ، وكذلك الإيوكاريوتات Eukaryotes لدرجة أنه في تقسيم للبكتيريا سنة ١٩٨٤ خصص لها قسم خاص هو section 21 تحت اسم Archaeobacteria يضم عدد ١١ إحدى عشر جنساً - على النحو التالي:

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1) <i>Methanococcus</i> | 7) <i>Methanothermus</i> . |
| 2) <i>Methanobrevibacter</i> | 8) <i>Methanolobus</i> . |
| 3) <i>Methanomicrobium</i> | 9) <i>Methanoplanus</i> . |
| 4) <i>Methanospirillum</i> | 10) <i>Methanogenium</i> . |

5) *Methanosarcina*

11) *Methanothrix*.

6) *Methanococcoides*

علاوة على بعض الأجناس الأخرى التى ليست مكونة للميثان ، ولكن تشترك مع بكتيريا الميثان فى خصائص أخرى تؤهلها لأن يطلق عليها اسم " Archaeobacteria " وهى البروكاريوتات التى تفتقر لوجود الببتيدوجليكان peptidoglycan فى جدرها الخلوية والمحتوية على فوسفوليبيدات phospholipids بروابط إيثيرية ether bonds بدلاً من الروابط الإستيرية ester bonds العادية ، هذا علاوة على خصائص أخرى تميز هذه المجموعة من البروكاريوتات.

32. Sulfate-reducing bacteria

هى بكتيريا سالبة لجرام ، ذات أشكال كروية مفردة وفى أزواج . تحصل على الطاقة اللازمة للنمو باستخدام مركبات الكبريت الغير عضوية لكن لا تستخدم عنصر الكبريت . تضم المجموعة جنس واحد *Archaeoglobus* الذى يلعب دوراً هاماً فى دورة الكبريت فى الطبيعة .

33. Extremely halophilic aerobic bacteria

وهذه البكتيريا تنمو فقط فى وجود الأكسجين ، تحتاج فى أوساط نموها حوالى ١٧-٢٣% كلوريد صوديوم لكى تنمو فى جيداً . تقطن البحيرات الملحية كالبحر الميت ، والملاحات التى تنتج الملح بالتبخير الشمسى لماء البحر ، والأسماك المملحة حيث تسبب فسادها . مستعمراتها ذات ألوان حمراء إلى برتقالية بسبب وجود مواد كاروتينية carotinoids التى يبدو أنها تحمى الخلية من ضوء الشمس الشديد الذى تتعرض له فى أوساط نموها الطبيعية . تقاوم الجفاف فى تراكيزات كلوريد الصوديوم العالية بمحافظتها على وجود ضغط أسموزى عالى بداخل الخلية من كلوريد البوتاسيوم ، والغشاء السيتوبلازمى لهذه المجموعة ثابت فقط فى وجود

التركيزات العالية من كلوريد البوتاسيوم ، كما أن إنزيماتها نشطة فقط في وجود التركيزات العالية من كلوريد البوتاسيوم أو الصوديوم . تضم هذه البكتيريا عدة أجناس منها جنس *Halobacterium* الذي تحلل خلاياه إذا انخفض تركيز الملح في وسط نموه عن ١٠ % حيث أن الوحدات المكونة للجدار تتماسك فقط في وجود الملح الذي ينمو في بحيرات الصودا الملحية ، تتميز البكتيريا المحبة للملوحة بطريقة فريدة لتخليق الـ ATP من الضوء بميكانيكية تشبه البكتيريا الضوئية .

34. Cell-wall less archaeobacteria

بسبب الزيادة الكبيرة في المكتشفات الحديثة من الأرثشيات *Archaea* ، خاصة منها تلك المحبات الفائقة للحرارة *hyperthermophiles* التي تنمو على فوق ٨٠ °م ، فإن تقسيم هذه الكائنات لا يزال في مرحلة التطور . وفي الوقت الحالي ، فإن المملكتين *Crenarchaeota* ، *Euryarchaeota* والممثلتين للفروع الرئيسية لميدان الأرثشيات يضمن حوالي ١٠٠ مائة نوع تم تصنيفهم في ٤٠ جنس جرى تنسيقهم في عشرة رتب بالمملكتين *3 Crenarchaeal & 7 euryarchaeal orders*

وتعتبر مملكة الـ *Crenarchaeota* مجموعة متجانسة جنسياً من الكائنات وذلك من الناحيتين الفسيولوجية والإيكولوجية حيث تضم الأرثشيات فائقة المحبة للحرارة العالية والمعتمدة على الكبريت *Hyperthermophilic* *sulfur-dependent archaea* وتحصل على طاقتها إما من اختزال الكبريت (*Thermoproteales, Pyrodictiales*) أو من أكسدة الكبريت (*Sulfolodales*). ويقتصر توزيع مجموعة الـ *Crenarchaeotes* على الأماكن البركانية التحجرية أو الترابية ، ومن ثم تعتبر هذه المجموعة طرازاً بيئياً سلفياً للأرثشيات *Archaie ancestral ecotype*. ومن الناحية الأخرى ،

تضم مملكة الـ Euryarchaeota طرزاً بيئية عديدة متنوعة موثمة على نحو جزئي للأوساط البيئية الحديثة ، ومن ثم تظهر تنوعاً إيكولوجياً أوسع ، وهي ذات الخاصية التي اشتقت منها تسميتها.

35. Extremely thermophilic and hyperthermophilic sulfur metabolizers

هي مجموعة من البكتيريا تتميز بأن درجات الحرارة المثلى لنموها تكون فوق ١٠٠°م ، تحصل على الطاقة من المركبات المحتوية على الكبريت ، سالبة لجرام . تشمل عدة أجناس منها جنس *Pyrodictum* الذي يتميز بأعلى درجة حرارة مثلى للنمو بين البكتيريا هي ١٠٥°م ، و جنس *Sulfolobus* الذي يقطن البراكين ويمكنه تثبيت CO₂ الهواء الجوي إلى مركبات كربونية .

الفصل الحادى عشر : ميكروبيولوجيا الهواء

ميكروبيولوجيا الهواء

Air Microbiology

يتكون الهواء للجوى من خليط ما الغازات بنسب مختلفة منها حوالى ٧٨% نيتروجين ، ٢١% لكسجين ، ٠,٠٣% ثانى أكسيد الكربون وكميات متفاوتة من بخار الماء والغازات النادرة والمواد الصلبة العالقة وحبوب اللقاح والميكروبات . وتحت الظروف العادية فإن أغلب هذه الميكروبات رمية منها خلايا خضرية وجراثيم .

وقد تصل الميكروبات إلى الهواء فى حالة عالقة بحبيبات الأتربة التى تنقلها الرياح من سطح التربة إلى الهواء لو قد تصل الميكروبات إلى الهواء فى رذاذ العطس أو السعال أو نرات وحبيبات ناتجة من ظروف خاصة بالمكان مثل مناطق زراعية تستعمل الرش بمياه المجارى أو من مخلفات السلخانات . ويلاحظ أن الميكروبات التى تأتى من التربة أغلبها مترمم بينما تلك التى تأتى من العطس والسعال أو من ظروف خاصة فقد تحمل ميكروبات ممرضة وخاصة فى المناطق المزروحة ربيئة التهوية .

وتختلف أنواع الميكروبات الموجودة بالهواء باختلاف المنطقة وظروفها وتحت الظروف العادية أى فى المناطق السكنية ذات الجو النظيف وحتى ارتفاع ٢٠٠ متر من سطح البحر فإن الأنواع الميكروبية التى تتواجد باستمرار ومصدرها الرئيسى التربة هى الخمائر وجراثيم الفطريات مثل *Aspergillus spp* ، *Penicillium spp* والبكتيريا العصوية الهوائية المتجرثمة *Bacillus spp* ، والبكتيريا الكروية المفترزة للصبغات مثل *Micrococcus spp* ، *Sporosarcina spp* وتعتبر *B. subtilis* من أكثر الميكروبات إنتشاراً بالهواء لأنها شائعة بالتربة ومتجرثمة وجراثيمها شديدة المقاومة للظروف السيئة خاصة الجفاف والحرارة .

وتختلف أعداد الميكروبات كثيراً حسب الظروف المحيطة وكمية الأتربة العالقة بالهواء ، فهواء المناطق المزحمة غير النظيفة يحتوى على أعداد أكبر من الميكروبات عن تلك الموجودة بالاماكن غير المزحمة النظيفة ، كما ان المناطق المفتوحة تحتوى على أعداد ميكروبات أقل بكثير من الاماكن المغلقة والتي قد تحتوى أيضاً على ميكروبات ممرضة ، ويحتوى الهواء القريب من سطح الأرض على أعداد أكبر بكثير مما يوجد فى طبقات الجو العليا كما ان هواء المناطق المترية به أعداد أكبر مما هو موجود بالمناطق غير المترية .

من البكتيريا الممرضة كثيرة الانتقال بالهواء هي B-haemolytic *Streptococci* وهى التى تسبب التهابات اللوز والبلعوم والحمى القرمزية كما يوجد بكثرة أيضاً البكتيريا العنقودية *Staphylococcus* التى تلوث الجروح والحروق . ومن الأمراض البكتيرية الأخرى الشائعة الانتقال عن طريق الهواء مرض النفثريا والذي يسببه بكتيريا *Mycobacterium diphtheria* والسل أو الدرن والذي يسببه بكتيريا *Mycobacterium tuberculosis* بالإضافة إلى التهابات الرئوية ، ومن الأمراض الفيروسية نزلات البرد والإنفلونزا والذي يسببه بالإضافة إلى بعض الأمراض الأخرى مثل الجدري الغدة النكفية والحصبة.

ويمكن التخلص من كثير من الميكروبات الموجودة بالاماكن المغلقة بالتهوية الجيدة أو للتعرض لأشعة الشمس أو الغسيل أو الترشيح أو إستعمال الإيروسولات أو إستعمال الأشعة فوق بنفسجية أو غيرها من الطرق المناسبة .

فى أجهزة التكييف مثلاً يمكن تنظيف الهواء لنحصل على هواء نظيف خالى من الأتربة dust free air وكثيراً ما تستخدم الآن الأشعة فوق البنفسجية فى المعامل والمستشفيات ومصانع الأدوية ومصانع التصنيع الغذائى لقتل الميكروبات الموجودة بهواء الحجرات أو الراسبة على أسطح المواد المختلفة بالحجرة ويراعى العاملون عند إستعمال الأشعة فوق البنفسجية عدم التعرض لها لأكثر من عدة دقائق فى اليوم تجنباً لحدوث حروق بالوجه أو أضرار بالعين .

الفصل الثانی عشر :

میکروبیولوجیا المیاء

ميكروبيولوجيا المياه

Water Microbiology

يهتم علم ميكروبيولوجيا المياه بدراسة الأنواع المختلفة من الأحياء الدقيقة وأعدادها وما تقوم به من أنشطة في المياه الطبيعية العذبة والمالحة ويشمل ذلك مياه الينابيع والبحيرات والأنهار والبحار . وتعتبر بعض هذه الكائنات الحية الدقيقة التي لا ترى بالعين المجردة الموجودة بالمياه كائنات متوطنة بهذه الأوساط والبعض الآخر يعتبر منقولا إليها حيث يصل إلى المياه من الهواء والأمطار الساقطة والتربة والمزارع والمنزل والمصانع . وتتعلق ميكروبيولوجيا المياه أيضاً بدراسة النواحي الميكروبيولوجية الخاصة بمياه الشرب ومياه مخلفات المصانع والمنازل وما يلزم لمياه الشرب من تنقية والمحافظة عليها من التلوث خاصة من مياه مخلفات المجاري Sewage pollution التي يجب أن تعالج بطرق مناسبة قبل الاستفادة منها حفاظاً على الصحة العامة . ويمكن تقسيم المياه الطبيعية إلى مياه جوية ومياه سطحية ومياه مخزنة ومياه جوفية وتحتوي كل مرحلة من هذه المراحل على أنواع متعددة من الكائنات الحية الدقيقة التي تتواءم مع ظروف كل مرحلة .

١- المياه الجوية Atmospheric water

تشمل هذه المياه الأمطار والثلوج وهذه المياه في بداية سقوطها من السحب تكون خالية من الميكروبات تماماً حيث أن بخار الماء المكون للسحب يكون خالياً من الميكروبات ولكن بنزول تلك المياه ومرورها بطبقات الجو فإنها تتلوث بالميكروبات الموجودة بذرات الأتربة العالقة بالهواء وبعد فترة قصيرة من نزول الأمطار فإن الجو يصبح رائقاً خالياً تقريباً من

الميكروبات بسبب ما يحدث له من غسيل وترسيب لجزيئات التراب والمواد العالقة وما تحمله من ميكروبات .

٢- المياه المخزنة Stored water

يؤدي تخزين المياه كما يحدث في البرك والبحيرات والخزانات إلى تقليل أعداد الكائنات الدقيقة بها ، وذلك نتيجة الترسيب ونشاط الأحياء الأخرى التي تتغذى على الكائنات الحية الدقيقة وتأثير بعض العوامل الجوية كالحرارة والأشعة فوق البنفسجية الموجودة بأشعة الشمس وإذا ما وصل إلى هذه المياه المخزنة مواد عضوية من الأرض أو النباتات أو مخلفات فإن أعداد الكائنات الحية الدقيقة من بكتيريا وطحالب وفطريات وبروتوزوا يزداد بتلك المياه ويصبح لونها داكناً ويتحلل تلك المخلفات تتكون روائح كريهة ويصبح لون الماء غير مقبول وطعمه غير مستساغ . هذا علاوة على زيادة أعداد الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية التي تقوم بنشاط فعال في قاع هذه المياه مما يعمل على ظهور الرائحة الكريهة .

٣- المياه الجوفية Ground water

تشمل المياه الجوفية مياه الينابيع والآبار وما لم يحدث تلوث من مصدر خارجي فإن المياه الجوفية تكون شبه خالية من البكتيريا والجزيئات العضوية نتيجة ترشيح المياه خلال مرورها بطبقات الأرض المختلفة التي تعمل بمثابة مرشح للمياه . وعادة كلما كانت المياه الجوفية عميقة كلما قل بها عدد الميكروبات وعند استخراج المياه من الآبار للاستعمال فإنه يجب سحبها عن طريق أنابيب مناسبة غير منفذة محافظة على المياه من أي تلوث خارجي . وهناك آبار يحتوى ماؤها على نسب عالية من مواد معدنية أو غير معدنية تشجع على نمو ميكروبات معينة بها ، فتوجد بكتيريا الكبريت في مياه الآبار المحتوية على نسبة مرتفعة من الكبريت وبكتيريا الحديد في

مياه ذات نسبة الحديد العالية والبكتيريا المحبة للحرارة في ينابيع المياه الساخنة وهذه عادة ما تكون ذاتية التغذية لأن نسبة المواد العضوية عادة تكون قليلة بمياه الينابيع الساخنة .

٤- المياه السطحية Surface water

بنزول مياه الأمطار والتلوج إلى سطح التربة يتكون ما يعرف بالمياه السطحية مثل مياه الأنهار والبحيرات والبحار وبسقوط المياه الجوية وملامستها لسطح التربة فإن تلك المياه تتلوث بدرجة كبيرة بميكروبات التربة ويتوقف مدى التلوث من حيث عدد وأنواع الميكروبات على الظروف البيولوجية والجغرافية والمناخية للتربة . في بداية نزول الأمطار يزداد عدد الميكروبات بالتربة ولكن باستمرار هطول الأمطار فإن عدد الميكروبات يقل بالتربة . ولكن يزداد عدد الميكروبات بشكل ملحوظ في مياه الأنهار التي تصلها المياه المحملة بالأتربة والميكروبات . هذا علاوة على المخلفات السائلة التي تلقى في هذه المياه خاصة من مخلفات السفن والفنادق العائمة ومخلفات المجارى كما يحدث في بعض الأماكن خاصة بالدول النامية .

١- المياه العذبة غير الملوثة Non-polluted fresh water

في البحيرات والأنهار الخالية من التلوث بالمخلفات قد تكون المياه شبه نقية ونسبة العناصر الغذائية بها قليلة وأعداد الميكروبات بها قليل أو محدود . تتضمن هذه أنواع من البكتيريا المترمة التي تستطيع النمو في كميات قليلة من العناصر الغذائية بالمياه مثل أفراد تابعة لأجناس *Protues* ، *Micrococcus* ، *Achromobacter* ، *Falvobacterium* ، *Spirillum* and *Bacillus* ، *Pseudomonas* . وقد وجد أيضاً بكتيريا مثل *Azotobacter spp* وبكتيريا النترة *Nitrifiers* وإذا توفر بالقاع كميات كافية من مواد عضوية متحللة تنمو البكتيريا اللاهوائية مثل

بكتيريا *Clostridium* spp الكلوسترديوم وبعض البكتيريا الأخرى اللاهوائية والإختيارية والحمية مثل البكتيريا المختزلة للكبريت مثل *Desulfovibrio* .

ب- المياه العذبة الملوثة Polluted fresh water

المياه العذبة الملوثة بمخلفات المجارى تشكل وسطاً مناسباً لنمو كثير من الميكروبات وتصل أعدادها إلى آلاف الخلايا لكل ١ سم^٣ من هذه المياه. وفي هذه المياه نتوقع وجود البكتيريا المعوية مثل *Clostridium* ، *Streptococcus* ، *E. coli* وذلك بالإضافة إلى أنواع عديدة من بكتيريا التربة المترمة مثل *Vibrio* ، *Spirillum* ، *Micrococcus* ، *Bacillus* والكثير من الأكتينوميستات والخمائر والفطريات والبكتيريا الشبيهة بالطحالب والبروتوزوا والفيروسات المعوية . وفي طين قاع المياه الملوثة فإن جهد الأكسدة والإختزال يكون منخفضاً وتنمو أنواع من البكتيريا اللاهوائية مثل *Clostridium* و *Desulfovibrio* .

تنقية مياه الشرب Purification of drinking water

يجب تنقية الماء حتى يصبح صالحاً للإستهلاك الأدمى وقد تم ذلك باستخدام الخطوات التالية :

١- تجنب التلوث بمياه المجارى Avoiding of sewage pollution

يعتبر تلوث مياه الشرب بمياه المجارى أهم وأخطر مصادر التلوث فهو الطريق الوحيد من الناحية العملية التى تصل عن طريقها الميكروبات الممرضة إلى مياه الشرب وينتج ذلك من مرور مصادر مياه الشرب بجوار مصدر مجارى فتترشح مياه المجارى إلى قنوات المياه أو ينتج التلوث من صرف مخلفات المجارى فى نهر أو مصدر لمياه الشرب . لذلك فإنه يلزم معالجة مياه المجارى أو التخلص منها بالطرق الصحية علماً بأن مياه المجارى بالمدن تجمع فى مواسير مقفلة بعيدة عن مواسير مياه الشرب حتى

لا تتمرب إليها ميكروبات مياه المجارى ثم يجرى التخلص منها وبذلك يعتبر إزالة مصدر التلوث والوقاية من التلوث بمياه المجارى بداية الخطوات التى تتبع فى تنقية مصدر المياه حتى تكون صالحة للشرب والإستخدام الأسمى .

٢- الترسيب Sedimentation

عند ترك المياه ساكنة لمدة من الزمن فى خزانات أو أحواض فإنه يرسب ما بها من مواد عالقة وما بها من ميكروبات إلى القاع ولزيادة سرعة الترسيب تضاف الشبة (كبريتات الألمونيوم والبولتاسيوم) أو أملاح الحدي (كبريتات الحديد) إلى الماء لزيادة سرعة تجميع الحبيبات وتكوين معلق يرسب سريعاً حاملاً معه الأحياء الدقيقة والأجسام العالقة . وعملية الترسيب تقلل من المحتوى الميكروبى للمياه ولكنها لا تعتبر بمفردها كافية لتنقية المياه تنقية تامة مما بها من ميكروبات ، ولذلك فهي تعتبر خطوة أولى فى عملية التنقية .

٣- الترشيح Filtration

يتم ذلك بإمرار الماء على طبقات متعاقبة من الحجارة والحصى والرمل الخشن والرمل الناعم وبذلك تحجز هذه للطبقات خاصة طبقة الرمل الناعم معظم المواد العالقة ومعظم الميكروبات من المرور . وعندما يستمر تشغيل المرشح تتكون طبقة جيلاينية بين حبيبات الرمل الناعم فتزيد من كفاءة عملية الترشيح ولكنها فى نفس الوقت تقلل من سرعته وعند حدوث ذلك يجب تنظيف المرشح .

ويمكن أن يتم الترشيح بالطريقة البطيئة أو بالطريقة السريعة ، وفى الطريقة البطيئة تلزم مساحات كبيرة نسبياً أما الطريقة السريعة فيكون الترشيح فى عدة وحدات حتى يمكن تشغيل بعضها مع تنظيف البعض الآخر مع إضافة الشبة أو أملاح الحديد لزيادة سرعة الترسيب وتمرر المياه المرشحة إما تلقائياً أو تحت ضغط .

والترشيح لا يعتبر الخطوة النهائية في عملية التنقية لأنه لا يزيل كل الأحياء الدقيقة الموجودة بالمياه ، بل يتبقى بعضاً منها ، فالمرشحات الرملية التي تعمل بطريقة صحيحة تحجز حوالي ٩٠٪ من الأحياء الدقيقة وتحجز كذلك معظم المواد العالقة وهذا يسهل إجراء التنقية النهائية للماء للتخلص مما بقي به من الأحياء الدقيقة .

الكلورة Chlorination

تعتبر هذه الخطوة غالباً آخر عمليات تنقية المياه وفيها يضاف الكلور لو أحد مركباته إلى المياه لتطهيرها ، وعند إضافة الكلور إلى الماء يحدث التفاعل الآتي :



وبذلك ينتج لكسجين نشط حيث التولد يكون قادراً على قتل الكائنات الحية الدقيقة عن طريق أكسدة محتوياتها وهذا بالإضافة إلى أن للكلور تأثير قتل عن طريق إتحاده المباشر ببروتين الخلية . وتتوقف كمية الكلور لو أحد مركباته التي تضاف إلى الماء على عوامل عديدة منها تركيز الكلور ومدة التأثير ، عدد أنواع الأحياء الدقيقة الموجودة بالماء ، كمية المادة العضوية خاصة البروتينية الموجودة بالماء حيث يتحد الكلور بالمواد العضوية فيقل تركيزه وتضعف فاعليته ، هذا بالإضافة إلى درجة الـ pH ودرجة الحرارة فتزيد سرعة تفكك الكلور في الوسط الحامضي وفي الحرارة العالية فيقل تأثيره .

وفي أغلب الأحوال يستعمل غاز الكلور المضغوط لتنقية مياه الشرب مع استعمال أجهزة خاصة لإضافته وذلك لضبط الكمية المضافة إلى الماء . ولتنقية المياه تضاف كمية كافية من الكلور تكفي لتنقية المياه ويتبقى بعد ٢٠ دقيقة من إضافته ٠,٢ إلى ٢,٠ مجم/لتر (جزء/مليون) على الأقل من الكلور

الفعال المتبقى Residual chlorine فوجود هذه النسبة يدل على أن كمية الكلور المضافة كانت كافية لقتل الميكروبات الحساسة مع تبقى جزء منه كاحتياط وقائي ضد احتمالات التلوث الأخرى . وتزداد النسبة المضافة من الكلور إذا زاد عدد الميكروبات بالماء أو إحتواء الماء على مواد عضوية أو مواد قابلة للأكسدة وأيضاً حسب الظروف الصحية السائدة . هذا وبعد معالجة المياه بالكلور توزع هذه المياه على المستهلكين بواسطة مواسير مغلقة بعيدة عن مياه المجارى حتى لا تتسرب إليها الميكروبات وتتلوث مرة أخرى.

٤- الفلورة Flurination

تهتم بعض الدول بإضافة الفلور إلى ماء الشرب قبل توزيعه على المستهلكين وتسمى هذه العملية بالفلورة لما لذلك من تأثير على تقليل نسبة تسوس الأسنان وتاكلها خاصة في الأطفال الصغار الذين مازالت أسنانهم في مرحلة التكوين . ويضاف الفلور في صورة فلوريد الصوديوم أو سيليكوفلوريد الصوديوم أو الأمونيوم ليعطى فلور متبقى Residual fluorine قدره ١ جزء / مليون وهي نسبة كافية لإيقاف التسوس بأسنان الأطفال وتأثير أيون الفلور على منع التسويس غير معروف بالضبط وقد يعود إلى إتحاده المباشر مع الأسنان نفسها أو إلى تداخله مع إنزيمات البكتيريا المنتجة للأحماض الموجودة بالفم وهي المسببة للتسويس وهي بكتيريا *Streptococcus mutans* .

وقد تتضمن عملية تنقية المياه أيضاً بعض العمليات الأخرى مثل إزالة أملاح معادن الكالسيوم والماغنسيوم المسببة لعسر الماء بترسيبها بإضافة الجير وضبط الرقم الأيدروجيني (pH) إذا كانت المياه شديدة الحموضة أو القوية وإزالة الألوان والطعم غير المرغوب فيه . علاوة على هذا فهناك بعض الطرق الأخرى المستعملة في تنقية المياه على المستوى

الضيق مثل الغليان حيث أن غليان الماء لمدة ١٠ دقائق يكون كافياً لقتل الميكروبات الممرضة غير المتجترمة والخلايا الخضرية الموجودة بالماء . وقد تستخدم الأشعة فوق البنفسجية لمعالجة المياه المعبأة في زجاجات لأنها لا تعطى لها أى طعم وهذه الطريقة مجدية فى المياه الخالية من المواد العضوية والمحتوية على عدد قليل من الميكروبات .

صلاحية المياه للإستعمال الألى

قد نحكم على صلاحية المياه للإستعمال الألى بعد أن نجرى عليها مجموعة من الإختبارات الطبيعية والكىماوية والميكروبيولوجية ونجرى هذه الإختبارات بشكل دورى لمتابعة الظروف الصحية لمياه الشرب.

وتشمل الإختبارات الطبيعية إختبار الطعم ، اللون ، الرائحة واللزوجة . وتشمل الإختبارات الكىمائية تحليل المياه كىمائياً للوقوف على تركيزات العناصر والأيونات المختلفة وكذلك المعادن الثقيلة والتى تؤثر فى تركيزاتها العالية على صحة الإنسان والحيوان وكذلك النبات . وليس هنا مجال لدراسة الإختبارات المختلفة إلا إجراء الإختبارات الميكروبيولوجية .

الفحص الميكروبيولوجى Microbiological examination

يحدث تلوث المياه نتيجة لإلقاء المخلفات فيها فعند دخول المخلفات العضوية إلى مصدر مائى ، فإنها تتعرض للتحلل الميكروبى مما يؤدى إلى سرعة نفاذ الكميات المحدودة من الأكسجين الموجود بتلك المصادر المائية . وقد يتسبب هذا فى تكوين وسط خالى من كل أنواع الكائنات الحية الدقيقة وهذا يسبب تغيرات جوهرية وضارة فى أنواع وأعداد ونشاط الميكروبات الموجودة فيما عدا الأنواع اللاهوائية والتى يستدل عليها من وجود أسماك ميتة وتدهور فى الحياة النباتية والروائح الكريهة الناتجة من نشاط الميكروبات اللاهوائية . وكذلك يظهر تلوث المياه فى وجود حالات تيفود

وبائي Epidemic typhoid بين المستهلكين لهذه المياه . هذا ويعتبر وجود الحمى التيفودية Typhoid fever والدوسنتاريا Dysentery دليل قاطع على تلوث المصادر المائية بالمخلفات البرازية المسببة لانتشار الأمراض . لهذا فإن المياه المستخدمة للشرب أو لأغراض التصنيع الغذائي يجب أن تكون مطابقة للمتطلبات القياسية للصحة العامة عند اختبارها بالطرق الموصى بها Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ولذلك فإن من الإهتمامات الخاصة لمصانع تعليب الأغذية هو ميكروبيولوجيا المياه Water Microbiology حيث يتم الإهتمام بتبريد المعلبات بعد معاملتها حرارياً . ذلك أن المياه المستخدمة إذا احتوت على ميكروب قادر على إحداث فساد للأغذية فسوف يكون هذا خلال فترات التخزين سواء في المخازن أو المحلات البيع نتيجة زيادة أعداد الميكروبات الموجودة بالمياه المستخدمة في تجهيز هذه المعلبات .

وهناك عدد من القائمين بتعليب الأغذية يقومون بإضافة كلور إلى الماء البارد لتقليل عدد الميكروبات والحد منها والبعض يستخدم ثاني أكسيد الكلورين أو أى مطهر آخر .

ولكى نتمكن من مراقبة الإستخدام السليم للمياه فإنه يجب أن تكون لدينا طرق ووسائل للكشف عن التلوث وقياسه . فعلى سبيل المثال فإن المياه التى تحتوى على أجناس *Pseudomonas* , *Achromobacter* and *Alcaligenes* تكون غير صالحة للإستخدام بدون معاملة وذلك فى أغراض منتجات الألبان مثل عما الزبد أو الجبن . وكذلك يعتبر النمو اللزج لبكتيريا الحديد فى إمدادات ومواسير المياه تؤدى إلى مشاكل فى إستخدام هذه المياه فى التصنيع الغذائى . هذا وتقدر جودة المياه بدرجة كبيرة بالتحليل البكتريولوجى والهدف الأساسى من هذا التحليل هو معرفة ما إذا كانت

المصادر المائية تحتوى على ميكروبات برازية Fecal organism ولكن ليس بالضرورة أن تكون مرضية حيث يؤخذ وجود هذه الميكروبات البرازية كدليل على توث المياه بالمخلفات الأسمية أو الحيوانية . وبصفة عامة فإنه يتم البحث عن بكتيريا القولون Coliform bacteria أو مجموعة Coli-aerogenes والتي تشمل كل الميكروبات الهوائية الاختبارية والتي تتميز بأنها عصويات مستقيمة سالبة لجرام غير متجترمة تخمر سكر اللاكتوز مع إنتاج غاز . ويشمل الفحص البكتريولوجى للمياه الاختبارات البكتريولوجية القياسية والخاصة بمياه الشرب Bacteriological stand point بعد إجراء عملية العد الكلى للميكروبات بها . ولإجراء مثل هذه الاختبارات تؤخذ عينات ممثلة Representative samples للمياه المراد فحصها تحت ظروف التعقيم وتحلل ميكروبيولوجيا كالاتى :

١- تقدير عدد البكتيريا الكلى Determination of total bacterial count

تعتبر المقاييس الأمريكية أن الماء صالحاً للشرب إذا احتوى على عدد كلى من البكتيريا أقل من ١٠٠ ميكروب / مل مقدره بطريقة الأطباق على بيئة الأجار المحضن على ٣٧°م لمدة ٢٤ ساعة . ويختلف العدد الناتج بطبيعة الحال باختلاف طريقة أخذ العينة وطريقة التقدير ونوع البيئة ودرجة حرارة التحضين . وبالنسبة للمياه المعدنية فيجب ألا يزيد عدد البكتيريا الكلى عن ٣٠ خلية / مل ولقد وجد أن العدد الكلى للبكتيريا طريقة غير صحيحة للحكم على صلاحية الماء للشرب لأن المياه قد تحتوى على عدد قليل من الميكروبات ولكن من بينها ميكروبات ممرضة أو قد تحتوى على عدد كبير من الميكروبات لوجود مواد عضوية أو معدنية بكثرة دون أن يكون بها ميكروبات ممرضة . وتفيد هذه الطريقة عند إجراء مقارنة بين أعداد الميكروبات قبل وبعد إجراء معاملة من معاملات تنقية المياه .

يعتبر هذا التقدير هام جداً حيث يعطى صورة واضحة عن مدى تلوث المصدر المائي بغض النظر عن نوعيات الميكروبات الموجودة . حيث يستخدم فيها بيئة غذائية عامة تسمح بنمو أغلب الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في العينة موضع الدراسة . وبعد إجراء عملية العد الكلى يتم إجراء دراسة تحليلية دقيقة ومتخصصة للعينات كما يلي فيما بعد .

٢ - الكشف عن الميكروبات الممرضة :

ينطوي هذا الكشف تحت ما يسمى بالتحليل القياسى للمياه Standard analysis والكشف عن الميكروبات الممرضة الموجودة بالماء أمر بالغ الصعوبة لأن هذه الميكروبات قد توجد بأعداد قليلة مما يجعل من الصعب عزلها في مزارع نقية متخصصة . كما أنه ليس من السهل تمييزها بالشكل الخارجى عن الميكروبات الأخرى غير الممرضة . فإذا ما أريد الكشف عنها وتميزها عن غيرها فإن ذلك يتطلب عملاً ومجهوداً كبيراً ووقتاً طويلاً قد يحدث أثناءه خطر تلوث القائم بالعمل ، وبالرغم من ذلك فقد لا يتوصل إلى نتائج مقبولة بطريقة غير مباشرة .

ونظراً لأن أهم الأمراض التى تنتقل عن طريق المياه هى التيفود *Salmonella typhi* والباراتيفود *Salmonella paratyphi* والكوليرا *Vibrio cholera* والدوسنتاريا *Shigella dysenteriae* والفيروسات المعوية وهى كلها تتسبب عن ميكروبات معوية تاتى من مخلفات أمية وحيوانية لذلك فإن وجود مياه مجارى فى مياه الشرب يدل على أن هذه المياه من المحتمل أن تحتوى على واحد لو أكثر من الميكروبات الممرضة سابقة الذكر . ومن المعروف أن أمعاء الإنسان والحيوانات ذات الدم الحار تحتوى على أعداد كبيرة من الميكروبات أغلبها من النوع غير الضار ومن هذه الميكروبات *Escherichia coli* و *Enterobacter aerogenes* الذى يوجد بكثرة فى

المخلفات الأدمية والحيوانية . وعلى ذلك فإن وجود ميكروب *E. coli* في ماء الشرب يؤخذ كدليل حيوى Indicator organism أو Bioindicator على تلوث هذه المياه بمياه المجارى إذ تعتبر هذه الميكروبات كاشفات للتلوث ويعنى هذا أن المياه التى يوجد بها كاشفات التلوث مثل *E. coli* يحتمل أن يوجد بها ميكروبات ممرضة معوية مثل تلك المسببة لشلل الأطفال .

تنتمى بكتيريا *E. coli* إلى ما يسمى بمجموعة بكتيريا القولون Coliform group وقد تسمى هذه المجموعة أيضا باسم Colon group أو Coli-aerogenes group وتتصف أفراد هذه المجموعة بأنها عصوية قصيرة سالبة لصبغة جرام ، غير متجترمة ، متحركة ، لاهوائية اختيارية ، تحلل سكر اللاكتوز ببيئة بويون اللاكتوز وتنتج حامض وغاز . والأسباب التى دعت لإختيار *E. coli* كدليل حيوى للكشف عن التلوث هى أن الكشف عن بكتيريا *E. coli* ميسر بالإضافة إلى أن هذه البكتيريا من السهل تداولها فهى غير ممرضة ولا تضر بالقائمين بالعمل ومصدرها مخلفات آدمية أو حيوانية وتوجد دائما بالمياه الملوثة ، مادامت البكتيريا الممرضة موجودة بها، وتعيش بالمياه لمدة أطول من الميكروبات الممرضة أما المياه غير الملوثة فخالية من بكتيريا *E. coli* . ونظرا لأن بكتيريا *E. coli* مصدرها برازى Fecal ، بينما يوجد أفراد أخرى من بكتيريا القولون مصدرها غير برازى Non-fecal وقادرة أيضا على تحليل سكر اللاكتوز إلى حامض وغاز مثل بكتيريا *Enterobacter aerogenes* التى توجد على النباتات والحبوب وفى التربة ومثل بكتيريا *Klebsiella* التى مصدرها القناة التنفسية لذلك فإنه بعد الكشف عن مجموعة بكتيريا القولون بالمياه فإنه يجب التمييز بين الميكروبات المحللة لسكر اللاكتوز البرازية وغير البرازية حتى يتسنى

الحكم بدقة على تلوث مياه الشرب بمياه المجارى، أما باقى البكتيريا المعوية مثل *Shigilla* ، *Salmonella* ، *Proteus* فهي غير محللة لسكر اللاكتوز .
يجرى هذا التحليل القياسى للكشف عن وجود بكتيريا القولون
Indicator organisms كدليل على تلوث المياه بمياه المجارى Sewage
ويتكون هذا النظام من ثلاثة اختبارات متتالية كالآتى :

١- الإختبار الإحتمالى Presumptive test

يتم تلقىح العينة تحت الدراسة فى بيئة بويون اللاكتوز لإختبار
التخمر لو بيئة مأكونكى السائلة وبعد فترة التحضين يتم الكشف عن وجود
حمض وغاز كنواتج لتحليل سكر اللاكتوز . وبعد فترة التحضين تفحص
العينات فإذا تكون غاز ١٠ أو أكثر من حجم أنبوبة درهام فى ظرف ٢٤
ساعة فإن الإختبار يكون موجب دالا على أن العينة ملوثة وغير صالحة
للاستخدام الأدمى . أما إذا تكون الغاز بعد ٢٤ ساعة أخرى فإن نتيجة
الإختبار تكون مشكوكا فيه ولذلك تجرى باقى إختبارات التحليل . أما عدم
وجود غاز بعد ٤٨ ساعة فيؤخذ ذلك دليلا على أن الماء غير ملوث وصالح
للاستهلاك الأدمى وفى هذه الحالة لا داعى لإجراء باقى الإختبارات .

٢- الإختبار التحقيقى Confirmed test

فى حالة النتيجة المشكوك فيها Doubtful presumptive test أى
ظهور كمية غاز بعد ٤٨ ساعة تحضن على ٣٧°م ، تؤخذ العينات ويجرى
لها الإختبار التحقيقى (التاكيدى) . يستخدم فى هذا الإختبار بيئة (EMB)
Eosine methylene blue agar أو بيئة Endo agar حيث هذه البيئات من
المعاملات التى أعطت نتيجة مشكوك فيها والناجمة من الإختبار السابق .
وبعد فترة التحضين تظهر مستعمرات ذات مركز أسود ولمعان معدنى
مخضر Brown colonies with metallic sheen هى مستعمرات ميكروب

Escherichia coli بينما إذا ظهرت مستعمرات بنية المركز وبدون اللمعان المعدنى وهى *Enterobacter aerogenes* .

٣- الإختبار التكملى Completed test

يجرى هذا الإختبار عادة للتأكد من أن المستعمرات التى ظهرت على أطباق EMB أو بيئة Endo agar فى الإختبار السابق تتبع مجموعة القولون Typical colonies ويشمل هذا الإختبار الآتى :

(أ) أن الميكروب المعزول من الإختبار الإحتمالى الإيجابى يستطيع أن يخمر سكر اللاكتوز ثانياً .

(ب) المستعمرات النامية على بيئتي EMB ، Endo agar والتى تظهر تحت الميكروسكوب عند فحصها بصبغة جرام خلايا عسوية قصيرة سالبة لجرام غير متجترمة وتابعة لمجموعة القولون .

(ج) تحليل المياه بالمرشحات الغشائية Analysis of water by membrane filter technique .

تستعمل المرشحات الغشائية لحجز البكتيريا من الماء ، ثم تسمى البكتيريا المحبوسة مباشرة على المرشح بوضعه على بيئة مناسبة . ومن خلال إستعمال بيئة إنتقائية معينة فإنه يمكن تقدير أعداد بكتيريا القولون Fecal Coliform (FC) . وكذلك يمكن عزل الميكروبات الأخرى مباشرة مثل ميكروبات Fecal Streptococci (FS) , *Salmonella* وغيرها حتى إذا تواجدت بأعداد قليلة .

حيث ترشح كمية معلومة من المياه تحت الدراسة خلال غشاء دقيق حاجز للبكتيريا Bacteria - retaining membrane سعة تقوية ٠,٤٥ ميكرومتر . بعد ذلك ينتقل الغشاء ويوضع على وسادة رقيقة مشبعة بالبيئة المناسبة والمتخصصة للميكروب المراد الكشف عنه . تستخدم بيئة

Modified enterococcus-agar medium لعزل الميكروبات السبحية
البرازية FS ولعزل بكتيريا القولون البرازية FC تستخدم Modified fecal
coliform medium .

التقييم Evaluation

وجود بكتيريا القولون البرازية FC في المياه دليلاً على وجود مخلفات
برازية حديثة . كذلك توجد البكتيريا السبحية البرازية FS في أمعاء الحيوانات
بأعداد أكبر من أمعاء الإنسان لذلك فإن استعمال نسبة FC/FS ratio يعتبر
هام جداً في تقدير احتمال كون التلوث البرازي من مصدر حيواني أو آدمي .
إذا كانت النسبة FC/FS أكبر من ٠,٤ كان ذلك دليلاً قوياً على حدوث تلوث
مصدره المخلفات الأدمية . وإذا كانت النسبة ٠,٧ دل ذلك على أن التلوث
مصدره الأساسي من مخلفات حيوانية أو مخلفات دواجن . أما إذا تراوحت
النسبة بين ٢ إلى ٤ دل ذلك على سيادة المخلفات الأدمية في التلوث . وهذه
البكتيريا التي تعتبر دليل وجود البكتيريا المرضية Indicator organisms
حيث أن وجودها في المياه دائماً ما دامت البكتيريا المرضية موجودة وبأعداد
ترتبط بدرجة مباشرة بدرجة التلوث وكذلك يجب أن تكون قادرة على البقاء
حية في المياه لمدة أطول من الميكروبات المرضية وأن تختفي بسرعة بعد
إختفاء الميكروبات المرضية وأن تكون غير ضارة للقائمين بالعمل علاوة على
أن تكون تقديرها الكمي سهل دون تدخل لميكروبات أخرى . وهنا نفى
بكتيريا القولون بأغلب هذه الإحتياجات .

الفصل الثالث عشر : ميكروبيولوجيا اللبن ومنتجاته

ميكروبيولوجيا اللبن ومنتجاته

Microbiology of milk and Dairy products

اللبن هو إفرانز الغدة الثديية في الحيوان وهو يحتوى على جميع المواد الغذائية اللازمة للنمو ، ولذلك فهو بيئة صالحة لنمو كثير من الميكروبات فنسبة الماء القابل للاستفادة به عالية . وهو متعادل التأثير يحتوى على سكر اللاكتوز كمصدر كربوهيدراتى ومصدر بروتينى كالكازين والألبومين والأحماض الأمينية علاوة على ما به من عناصر معدنية وفيتامينات وإنزيمات لذلك فإن اللبن عرضة لتلوث والفساد بالميكروبات . وعلى ذلك فإن منع اللبن من التلوث بالميكروبات والحد منها وإيادتها عوامل هامة فى إنتاج لبن جيد الصفات ، ويتخذ عدد الميكروبات باللبن معياراً لجودته كلما زاد عدد الميكروبات كلما قلت قيمته وتحتاج الميكروبات لكل المكونات التى توجد باللبن لذا فهو يعتبر بيئة غذائية صالحة لكل الكائنات الحية الدقيقة .

المحتوى البكتيرى Bacterial content

عند إفرانز اللبن من حيوان سليم يكون خالياً من الميكروبات وفى الضرع يتسرب إلى اللبن عدد من البكتيريا الموجودة فى قناة الحلمة Teat canal يتراوح ما بين ٥٠٠-١٠٠٠ ميكروب لكل سم^٢ لبن ، وهى غير ممرضة من الأجناس التالية :

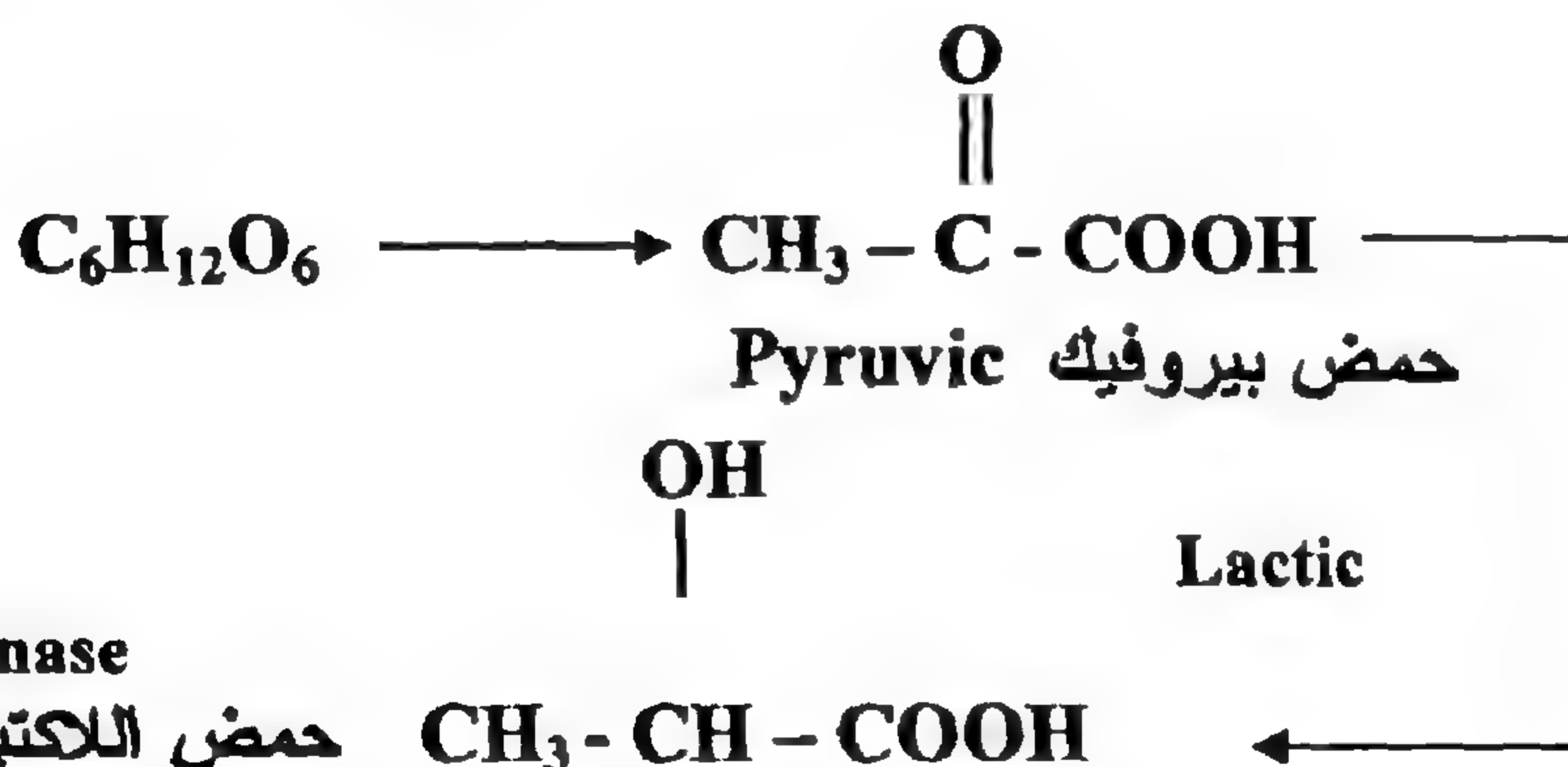
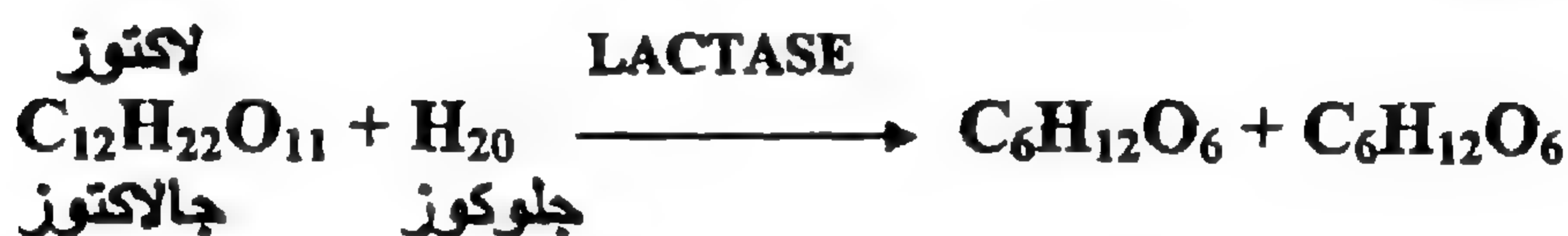
Micrococcus, Streptococcus, Corynebacterium bovis

أما إذا كان الحيوان مريضاً أو مصاباً بالتهاب الضرع فإن عدد الميكروبات باللبن يزيد زيادة كبيرة وقد يحتوى على ميكروبات ممرضة . وبعد نزول اللبن من الضرع يتعرض للتلوث من مصادر عديدة منذ حلبه حتى استهلاكه بكثير من البكتيريا والخمائر والفطريات غير أنه بالنسبة لمكونات الألبان وظروف تداولها فإن البكتيريا هى التى يتهى لها ظروف

النمو والتكاثر فتسود وأهم أنواع البكتيريا الموجودة باللبن هي بكتيريا حمض اللاكتيك وبكتيريا مجموعة القولون وبعض أنواع من جنس *Clostridium* أما البكتيريا المحلة للدهون والبروتين وغيرها فتكون أقل أهمية.

أولا : بكتيريا حمض اللاكتيك *Lactic acid bacteria*

هي مجموعة من البكتيريا تتبع عائلة *Lactobacillaceae* وهي إما كروية أو عصوية ، موجبة لصبغة جرام ، غير متجترمة ، غير متحركة ، سالبة لاختبار الكتاليز تحتاج في نموها لكميات قليلة من الأكسجين وتمتاز بأنها تحلل سكر اللاكتوز بواسطة التخمر اللاكتيكي وتنتج أساسا حامض لاكتيك .



أي أن سكر اللاكتوز يتحلل بواسطة إنزيم *Lactase* إلى جلوكوز وجالاكتوز ثم تحدث عملية فسفرة السكر الاحادي حسب نظام التحلل الجليكولي ، ويتكون حمض البيروفيك كمركب وسطي وهذا يختزل إلى حمض لاكتيك بواسطة إنزيم *Lactic dehydrogenase* وقرين الانزيم *DPN* المختزل . وبكتيريا حمض اللاكتيك إما أن يكون:

١- Homofermentative أي أنها تحلل أكثر من ٩٠% من سكر اللاكتوز إلى حمض لاكتيك مع إنتاج كميات ضئيلة من حمض الخليك ، ك٢ والمركبات الأخرى .

٢- Heterofermentative تعطى بالإضافة إلى حامض اللاكتيك المتكون كميات محسوسة من الأحماض والكحولات والغازات .

والأنواع التي تتبع القسم الأول هي التي تسود في اللبن تحت الظروف العادية وهي تستطيع النمو ما بين ٢٠-٤٠م وهي المسؤولة عن حموضة اللبن وعن صناعة المنتجات اللبنية وتصل بكتريا حمض اللاكتيك إلى اللبن من جلد الحيوان وجو الأسطبل والأثربة والأبواب وأهم أنواعها .

١- *St. lactis* ميكروب كروي يهلك بالبسترة ويعتبر من أهم الميكروبات التي توجد في اللبن ويسبب حموضة اللبن الخام ويعتزل في صناعة الألبان المتخمرة كالزبادى .

٢- *St. thermophilus* ميكروب كروي لا يهلك بالبسترة ويستطيع النمو على درجة حرارة عالية ٥٣م ولذلك فهو يستخدم في المنتجات اللبنية التي تحتاج لدرجة حرارة عالية مثل الجبن السويسرى .

٣- *Lact. casei* عصوى يهلك بالبسترة ويوجد في اللبن الخام وهو هام في صناعة جبن شيدر .

٤- *Lact. bulgaricus* عصوى يهلك بالبسترة ويفضل درجة حرارة أعلى من الميكروب السابق ويعتزل في تحضير الألبان المتخمرة كالزبادى.

ثانيا : بكتريا القولون Coliform bacteria

وأهمها *E. coli* , *Enterobacter aerogenes* وهي تحلل سكر اللاكتوز وتكون أحماض مثل اللاكتيك ، خليك ، فروميك ، وغازات مثل ك٢ ، يد٢ بالإضافة إلى تكوين روائح غير مقبولة ففرة وطعماً مرأ في اللبن

لتكون حامض الفروميك ومكروب *Enterobacter aerogenes* يكون حامضاً أقل وغازات أكثر عن ميكروب *E. coli* . ووجود هذه الميكروبات في اللبن لو منتجاته غير مرغوب فيه وتصل هذه الميكروبات إلى اللبن عن طريق الروث والأتربة ومواد العلف . وتوجد أيضاً البكتيريا الممرضة *Pathogenic bacteria* تحت ظروف خاصة قد تصل البكتيريا الممرضة إلى اللبن وهي تنمو بسرعة على درجة ٣٠-٤٠ م وبذلك يصبح اللبن مصدراً للتلوث بهذه الميكروبات من أمثلتها الميكروبات المسببة للحمى التيفودية والتسمم بالسالمونيلا والحمى المالطية والتهابات الزور والحمى القرمزية .

ثالثاً : البكتيريا اللاهوائية *Anaerobic bacteria*

وتتمثل في جنس *Clostridium* وهي بكتيريا متجترمة تنتج غازات وطعم غير مرغوب في المنتجات اللبنية وهي حسب نوعها فهي إما أن تحلل البروتينات أو تحلل السكريات الموجودة في اللبن وفي الحالة الأخيرة فإنها تكون غازات بكمية كبيرة (ك أ_٢ + يد_٢) مسببة تخمراً عاصفياً Stormy fermentation إذ أن الغاز المتكون يجزيء الخثرة إلى قطع صغيرة ووجودها غير مرغوب فيه ومصدرها الروث والأتربة .

التغيرات البكتيرية في اللبن *Bacterial changes in milk*

معظم التغيرات التي تحدث في اللبن على درجات حرارة مختلفة تكون نتيجة لفعل الميكروبات فتحدث تغيرات في اللون والطعم والرائحة والشكل والقوام ويمكن معرفة هذه التغيرات بالتذوق وبالرائحة وتتوقف هذه التغيرات على الظروف المحيطة باللبن حيث أن درجة الحرارة وطول المدة التي يحفظ عندها اللبن يؤثران على نوع وعدد الميكروبات الموجودة وبالتالي نوع الفساد الذي قد يحدث .

١- عند درجة الحرارة المنخفضة (٥م) فإن نشاط البكتيريا المنتجة للحموضة يوقف ولا يستطيع النمو وبذلك تنشط البكتيريا المحللة للبروتين وكذلك

بغلى اللبن فإن البكتريا المنتجة للأحماض تموت وتبقى جراثيم البكتريا المحللة للبروتين وبذلك يصبح المجال مفتوحاً للنمو والنشاط حتى فى درجات الحرارة العالية .

٢- فى درجة الحرارة التى تعلو للتجمد مباشرة تنشط البكتريا المحبة للبرودة من الأنواع المحللة للبروتين مثل *Pseudomonas spp* مسببة مرارة وطعم غير مقبول دون حدوث أى تغير ظاهري .

٣- إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى ١٥م تنشط عندها بكتريا *Streptococcus lactis* والأنواع المشابهة منتجة حامضاً يسبب تجبن اللبن وفوق هذه الدرجة أيضاً تنمو *Enterobacter spp*

٤- وعند درجة حرارة ٣٧م تنمو جيداً بكتريا القولون فى حين يقف معظم أنواع *Streptococcus spp* عن النمو ولكن *Str. thermophilus* وأنواع من *Lactobacillus spp* تستطيع أن تنمو جيداً عند هذه الدرجة وفوقها وبذا تسود وتنشط .

٥- عند درجة ٤٥ - ٥٠م تسود أنواع بكتريا حامض اللاكتيك التى تستطيع النمو على درجة حرارة مرتفعة منتجة حامضاً ومسببة تجبن اللبن .

٦- عند درجة ٥٥ - ٦٠م تنمو الأنواع المحبة للحرارة المرتفعة وبالنسبة للبكتريا المنتجة للأحماض فإنه إذا كانت الظروف ملائمة لنموها فإنها تحد من البكتريا المحللة للبروتين والدهون عند درجة الحرارة العادية .

مصادر تلوث اللبن Sources of milk contamination

١- داخل الضرع Interior of udder

تستطيع البكتريا أن تنمو داخل الحلمة عن أى منطقة أخرى بالضرع وهى كلها ميكروبات غير ممرضة ويفضل التخلص من الجزء الأول عند الحليب لاحتوائه على عدد أكبر من الميكروبات وإذا كان الضرع مصاباً

بالتهاب الضرع فإن عدد البكتريا باللبن يزيد كثيراً وفي هذه الحالة يحتوى اللبن على كمية كبيرة من كرات الدم البيضاء وبكتريا ممرضة للإنسان ومن البكتريا الممرضة التى تنتقل من ضرع الحيوان المصاب إلى اللبن بكتريا السمل والحمى المالطية والتهاب الضرع لذلك فإن الحيوانات المريضة يجب أن تعزل عن باقى القطيع خوفاً من انتشار المرض .

٢- جلد وشعر الحيوان Skin and hides

الأتربة والروث التى على الجلد والشعر تلوث اللبن عند حلبه إذا سقطت فيه لذلك يجب حلق شعر الضرع وتنظيف الحيوان قبل الحليب ويصل من هذا الكثير من بكتيريا القولون مع احتمال التلوث بميكروبات ممرضة .

٣- جو الإسطبل Barn air

يجب تجنب العوامل المثيرة للأتربة داخل الإسطبل أثناء الحليب كما يجب إبعاد الذباب عن اللبن باستمرار حيث أنه مصدر خطير لنقل الميكروبات إلى اللبن ومنها الممرضة .

٤- الحلاب

يجب أن يكون الحلاب أو القائم على عملية الحليب سليماً صحياً وأيديه نظيفة جافة عند إجراء عملية الحلب Milking .

٥- أوانى الحليب

وهى من أهم مصادر التلوث لذلك يجب أن تكون من نوع جيد غير قابلة للصدأ نظيفة ويتضمن ذلك غسلها جيداً ومعالجتها بالمحاليل المطهرة وتجفيفها ، وإلا تصبح مصدراً خطيراً للتلوث . وكذلك فإن باقى أدوات المعمل وأوانيه وآلات الحليب يجب أن تكون نظيفة والبكتريا التى تسود فى الأوانى هى بكتيريا حمض اللاكتيك *Str. Lactis* وبكتريا القولون ، والبكتريا

المقاومة للحرارة التي تعيش بعد البسترة ، والبكتيريا المحبة للحرارة المرتفعة والمتجرثمة . ويتجنب مصادر التلوث السابقة أثناء عملية الحليب ، فإنه يمكن أن يخفض عدد البكتيريا في اللبن بما يزيد عن ٧٥% .

عمليات ما بعد الحلب Post milking

١- تبريد اللبن Cooling

عقب عملية الحليب يبرد اللبن مباشرة من ٤ إلى ١٠ م لإيقاف نمو وتكاثر البكتيريا الموجودة به ، درجة الحرارة هذه يجب المحافظة عليها سواء عند نقله أو أثناء التخزين في المصنع أو في محلات البيع أو في المنازل لحين الاستهلاك .

٢- بسترة اللبن Pasteurization

وهي من أفضل طرق حفظ اللبن ، نظراً لأنها تحافظ على مكوناته الغذائية وخصوصاً الفيتامينات والكالسيوم ولا تؤدي إلى تغيير ينكر في طعم ومظهر اللبن . وتتم عملية البسترة بتسخين اللبن لدرجة أقل من الغليان حيث يتم القضاء على حوالي ٩٠ - ٩٩% من البكتيريا الحية الموجودة ويتضمن ذلك القضاء على أغلب الميكروبات المفسدة وكل الميكروبات الممرضة التي من بينها ميكروب السل *Mycobacterium tuberculosis* وهو أشد الميكروبات الممرضة مقاومة للحرارة فهو يموت عند درجة ٦٠ م لمدة ١٥ دقيقة وعلى ٦١,١ لمدة ١٠ دقائق ، ويبقى بعد البسترة بعض الميكروبات وهي غير ممرضة ولكن وجودها يدل على عدم جودة تنظيف أدوات ولوانى أجهزة الحليب ومن الميكروبات المتبقية :

1. *Thermophilic lactics as Str. thermophilus, str. faecalis*
L. thermophilus, L. bulgaricus
2. *Thermophilic Micrococcus*

3. Sporeformers as *B. cereus*, *B. subtilis*, *B. coagulans*, *Cl. sporogenes*, *Cl. butyricum*

والبسترة طريقتان الأولى الطريقة البطيئة وفيها يعامل اللبن على درجة ٦١,٧م لمدة ٢/١ ساعة أما الطريقة السريعة يعامل فيها اللبن على درجة ٧١,٧م لمدة ١٥ ثانية أو على درجة حرارة ٨٨,٤م لمدة ثانية واحدة. والبسترة تطيل مدة حفظ اللبن ، إذا ما حفظ اللبن التنظيف بعد بسترة على درجة حرارة منخفضة ٤-٥م فإن عدد الميكروبات لا يتغير به كثيراً لمدة أسبوع أما إذا كان اللبن غير نظيف وبستر فإن عدداً كبيراً من الميكروبات يعيش بعد البسترة وينمو ويتكاثر ولو ببطء على درجة الحرارة المنخفضة - وعقب البسترة يبرد اللبن ثم يعبا في زجاجات نظيفة معقمة . ويجب المحافظة على اللبن من إعادة تلوثه بعد البسترة من العمال أو الأدوات أو الذباب ومن أهم أسباب فساد اللبن المبستر المحفوظ على درجة حرارة منخفضة هي البكتريا المحبة للبرودة .

إختبار كفاءة البسترة Efficiency of pasteurization

يتم هذا الاختبار بواسطة تقدير الفوسفاتيز Phosphatase Test والفوسفاتيز إنزيم يفصل الفوسفات من مركبات الفوسفات وهو موجود في اللبن ويصل إليه من أنسجة الحيوان والغدد الثديية . وهذا الإنزيم يفسد بالبسترة لذلك فهو لا يوجد في اللبن المبستر. ولإجراء الاختبار يضاف جزء من اللبن المراد اختباره إلى محلول منظم من بورات الصوديوم مع صودا كاوية ومادة فوسفاتية هي داي صوديوم ميثيل فوسفات يحضن الخليط فإذا كان الإنزيم موجوداً فإنه يحلل المادة الفوسفاتية ويخرج منها الفينول والفوسفات . ويكشف عن الفينول المتكون بمادة Dibromo-quinone-chloroimide 2.6 وإسمه التجاري Boc فإذا تكون

لون أزرق من الأندوفينول دل ذلك على وجود الفينول وبالتالي يدل على وجود إنزيم الفوسفاتير وعدم كفاءة البسترة .

جودة اللبن Quality of milk

يشترط في اللبن الجيد أن يكون ذو قيمة غذائية عالية وأن تكون فترة حفظه طويلة وله طعم ورائحة مرغوب فيها وأن يكون نظيفاً مأموناً للشرب ونقل جودة اللبن بسبب نمو الميكروبات فيه ، ولذلك تتخذ الأعداد العالية من البكتريا الموجودة في اللبن دليلاً على سوء الإنتاج والتداول واحتمال التلوث بميكروبات ممرضة. ويقدر عدد البكتريا في اللبن بطريقة الأطباق وهي الأكثر شيوعاً أو بطريقة العد المباشر بالميكروسكوب أو بسرعة تكون الحامض أو باختبار اختزال لون أزرق الميثيلين .

يحتوى اللبن عند خروجه من ضرع الحيوانات على أعداد قليلة جداً من الميكروبات إذا كانت تلك الحيوانات سليمة صحياً ولا تستطيع هذه البكتريا القليلة في العادة أن تنمو جيداً في اللبن تحت الظروف العادية . ولكن بتعرض اللبن للتلوث بعد الحليب من أجزاء الضرع الخارجية وخصوصاً إذا كان غير معتنى بنظافتها أو بأجزاء التربة والسماد التي تكون موجودة في فرشة الحيوانات ومنتشرة في جو الإسطبل وخصوصاً إذا كان مترباً ويقل عدد الميكروبات التي تصل إلى اللبن إذا كانت الحلابة آلياً بواسطة الماكينات وليس باليد ويقل عدد الميكروبات إذا كان الحيوان معتنى به بانتظام والضرع مغسول بالماء أو بمحلول مطهر وكلما أبعدت الحيوانات عن الأماكن التي بها مياه راكدة أو موحلة .

والمصدر الثانى للتلوث هو أدوات الحلابة نفسها مثل ماكينة الحليب والأقساط والأحواض والمواسير والمبردات وإذا لم يتم نظافتها جيداً وتطهيرها فإنها تصبح مصدراً خطيراً للتلوث . وإذا لم يتم تجفيف الأقساط التي يعبا فيها

اللبن على سبيل المثال فإن الميكروبات تتكاثر في المتبقى الجاف وتصبح مصدر عدوى للبن الجديد وتشمل هذه الميكروبات بكتيريا حمض اللاكتيك - بكتيريا القولون - البكتيريا المحبة للبرودة - البكتيريا السالبة لجرام - البكتيريا المقاومة للحرارة والعصويات والبريفيكترية *Brevibacteria* .

أما بقية مصادر التلوث فهي الحلاب وملابسه ووسائل النقل وعمال المصانع والذباب والصراصير وهم عادة يضيفون قليلا من الأعداد ولكنها قد تكون ممرضة وفي هذا مصدر الخطر . وتستخدم بعض المواد مثل مركبات الأمونيوم الرباعية والهيپوكلوريت في أعمال النظافة ولكن تشجع المادة الأولى نمو الميكروبات السالبة لجرام والثانية نمو الميكروبات الموجبة لجرام ويمكن أن يتعرض أى منتج آخر من منتجات اللبن إلى التلوث إضافة إلى التلوث الذى حدث أصلا فى اللبن الخام .

فالزبد يمكن أن يضاف إليه تلوث جديد من ماكينات الخض أو من ماء الغسيل أو من القشدة القديمة أو من ماكينات التقطيع أو التغليف واللبن الجاف يمكن أن يتلوث عند التعبئة وكذلك اللبن المكثف المحلى من ماكينات الإعداد ويمكن أن تتلوث الجبن من الهواء وأحواض التمليح والرفوف وأماكن التعبئة والتغليف ، والأيس كريم عن طريق الإضافات . ويمكن أن تزيد أعداد الميكروبات التى تلوث اللبن ومنتجاته بنموها فيها إذا لم تحفظ فى جو يمنع نمو هذه الميكروبات .

أنواع الفساد Types of spoilage

يعتبر اللبن بيئة ممتازة لنمو الميكروبات نتيجة احتوائه على جميع المواد الغذائية اللازمة لنموها ولقرب الـ pH فيه من التعادل وهو يحتوى على نسبة عالية من الرطوبة ومواد الطاقة مثل اللاكتوز والدهن والسكريات والمركبات النتروجينية فى صورة بروتينات وأحماض أمينية وأمونيا ويوريا

ومواد معدنية . وتوجد باللبن الناتج حديثاً بعض المواد المثبطة مثل اللاكتوبيروكسيديز والأجلوتينات ولكنها سرعان ما يبطل مفعولها . ونظراً لوجود سكريات باللبن قابلة للتخمير بواسطة البكتيريا فإن التخمير الحامضي في اللبن هو المحتمل تحت الظروف العادية ولكن تحلات أخرى يمكن أن تتم إذا لم تتوفر الظروف المناسبة للتخمير الحامضي .

إنتاج حامض Acid production

إذا حمض اللبن فإنه يعتبر فاسداً بالرغم من أن التخمير اللاكتيكي الحامضي يستخدم في صناعة منتجات اللبن كثيرة مثل الجبن والزبادي ، والمظهر الذي يصحب الحموضة طعم لاذع وتختل في محتويات اللبن ليعطى خثرة صلبة أشبه بالجيلي أو خثرة ضعيفة تفقد الشرش بسهولة . والتخمير اللاكتيكي هو التخمير المحتمل في اللبن المحفوظ على درجة حرارة الغرفة وهو نوعان المتجانس والمختلط . وفي اللبن الخام على درجة ١٠ - ٣٧°م تقوم ميكروبات *Streptococcus lactis* أساساً بإحداث تخمر من النوع المتجانس وتكوين الحموضة ويمكن أن تنمو معها ميكروبات القولون و *Micrococcus, Lactobacillus* . أما على درجات الحرارة المرتفعة من ٣٧ - ٥٠°م فإن ميكروب *Str. thermophilus, Str. faecalis* ينتجان حوالى ١% من الحامض يتبع ذلك نمو مثل *Lactobacilli, L. bulgaricus* .

أما أعلى من ٥٠°م فإن البكتيريا المحبة للحرارة يمكنها النمو مثل *L. thermophilus, Bacillus sp* أما الألبان المحفوظة قريباً من الصفر فإن تكون الحموضة يكون قليلاً . إلا أنه عند هذه الدرجة يحدث فساد من نوع آخر نتيجة تحلل البروتين . ويمكن أن ينتج أحماض أخرى مثل حمض البيوتيريك نتيجة نمو ميكروبات *Clostridium sp* تحت ظروف تثبيط نمو ميكروبات التخمير اللاكتيكي الطبيعي . هذا كما هو الحال في اللبن المعامل

بالحرارة بحيث تقتل فيه جميع الخلايا الخضرية ولا تبقى فيه سوى جراثيم بعض البكتيريا ومنها *Clostridium* فإنه يتم فيه تخمر بيوتيري ينتج حمض البيوتيريك مع غازات الهيدروجين و ك^٢ أ .

إنتاج الغاز Gas production

يصحب إنتاج الغازات في العادة تكون الأحماض وهو غير مرغوب فيه سواء في اللبن أو منتجاته . أهم البكتيريا المنتجة للغازات هي ميكروبات القولون وبعض *Yeast, Bacillus, Clostridium* وبكتيريا حمض البروبيونيك وبكتيريا التخمر اللاكتيكي المختلط. ويمكن ملاحظة إنتاج الغاز في اللبن بظهور الرغوى على سطح اللبن إذا كان سائلا أو على شكل فقاعات محبوسة داخل الخثرة إذا كان اللبن متجسنا ، ويمكن أن تكون الخثرة كلها مرفوعة إلى أعلى أو مشققة في حالة التخثر العاصف Stormy fermentation. واحتمال تكوين الغازات في اللبن ونوع الميكروبات المسبب لتكوين الغاز يتوقف على نوع المعاملة السابقة للبن ودرجة الحرارة المحفوظ عليها .

فمثلا في اللبن الخام من درجة الصفر وحتى ٣٧م يكون لبكتيريا القولون النصيب الأوفر في التخمر وتكوين الغاز لأنها تستطيع أن تتنافس البكتيريا المنتجة للحموضة . وتستطيع البكتيريا المختلطة التخمر أن تنتج غازات أيضا على هذه الدرجة ولكنه غير كاف للاستدلال عليه . أما الخمائر وهي القادرة على تخمير سكر اللاكتوز وإنتاج الغازات فهي عادة ما تكون غير موجودة أو موجودة بنسبة ضئيلة ولا تستطيع التنافس مع بقية البكتيريا ، وهي في بعض الأحيان تكون غازات في القشدة التي تجمع بانتظام في المزارع والتي تتعرض للحموضة حيث تشجع الحموضة نمو الخمائر. أما *Bacillus, Clostridium* المنتجين للغازات فهما لا ينموان في حرارة الثلاجة ولا يتنافسان مع البكتيريا المنتجة للأحماض حتى على الدرجات

العالية ولكن إذا كانت الميكروبات المنتجة للأحماض غائبة أو غير نشطة وذلك في اللبن المبستر أو المعامل على درجة حرارة أعلى حيث تقل الميكروبات المنتجة للأحماض أساساً فإن جراثيم *Bacillus, Clostridium* تنمو وتكون الغازات وهي تضر بصناعة الجبن ، أما البكتيريا المنتجة لحمض البروبيونيك فهي عادة غير نشطة في اللبن .

تحلل البروتين Proteolysis

يصحب تحلل البروتين في اللبن تكون طعم مر نتيجة لتكون الببتيدات. ويتم تحلل البروتين عند درجات الحرارة المنخفضة بصورة أفضل لو عند قتل الميكروبات المنتجة للأحماض بالحرارة أو عند استهلاك الحمض المتكون في اللبن بواسطة الفطريات والخمائر السطحية أو عند معادلة الأحماض بواسطة منتجات أخرى . وهناك أنواع لهذا التحلل هي :

١- التحلل الحامضي : وفيه يتم تحلل البروتين وتكون الأحماض في نفس الوقت.

٢- التحلل مع نسبة ضئيلة من الحموضة أو تكون قلوية .

٣- التخثر الحلو : الذي يتسبب فيه إنزيمات بكتيرية شبيهة بالرينين .

٤- التحلل البطيء : بواسطة الإنزيمات الداخلية للبكتيريا بعد تحللها .

ويتكون في النوع الأول خثرة منكشة مصحوبة بطرد كثير من الشرش ثم يعقب ذلك هضم بطيء للخثرة وتقل كثافتها وتزداد شفافيته ، ويمكن لبعض أنواع البكتيريا أن تذيبها إذابة كاملة . وأحياناً تتفصل الخثرة إلى جسيمات صغيرة تتكمش بحيث تبدو ضئيلة وسط الشرش الكثير . وتحلل البروتين الحامضي يمكن أن يتسبب بواسطة ميكروبات *Micrococcus* وبعضها ينمو في ضرع الأبقار ويسبب تلف اللبن الناتج بطريقة غير نظيفة. وهناك أنواع أخرى مثل كرويات القولون المسيلة للبروتين مثل

Streptococcus faecalis var. Liquifaciens وهو مقاوم للحرارة ويمكن أن يسبب تحلل البروتين في اللبن المبستر وهناك أيضاً جراثيم بعض أنواع *Bacillus* التي تبقى بعد البسترة أو حرارة أعلى منها وتسبب الفساد وهي عصويات ميكروب *Bacillus cereus*.

أما تحليل البروتين بواسطة البكتريا التي لا تستطيع تخمير اللاكتوز فهو يتم في مجال واسع ابتداء من التحليل البسيط الذي لا يستدل عليه إلا كيمائياً حتى التحلل التام الذي سبق أن أشرنا إليه سابقاً حيث تتكون كمية ضئيلة من الأحماض أو لا تتكون مطلقاً وفي الحقيقة يتحول اللبن إلى القلوية مع الوقت نتيجة منتجات تحلل البروتين ومعظم هذه البكتريا تخثر اللبن تخثراً حلواً بإنزيمات الرينين قبل هضم الكازين والبعض الآخر يحلله مائياً بسرعة حتى أنه لا يستدل على تكون خثرة بحيث يتبقى سائل رائق تماماً بدون أي أثر للكازين وبعض هذه الميكروبات النشطة في هضم الكازين توجد بين أجناس *Serratia, Micrococcus, Alcaligenes, Pseudomonas, Proteus, Flavobacterium, Achromobacter* وكلها أجناس بكتيرية غير متجترمة. ومن الواضح أنه من بين هذه الأجناس من يمكنه النمو في ظروف الحرارة المنخفضة مثل *Micrococcus, Flavobacterium, Pseudomonas* وبالتالي يتكون الطعم المر في اللبن المحفوظ في الثلاجة نتيجة تحلل البروتين. ولا يوجد من بين هذه البكتريا التي تعيش في جو التبريد إلا بعض أنواع *Micrococcus*، ولذا فإن فساد اللبن المبستر في الثلاجة يمكن أن يتم بواسطتها. وأما الأنواع المتجترمة مثل *Bacillus, Clostridium* والتي تبقى بعد البسترة فهي لا تنمو في جو الثلاجة وهي في الجو العادي لا تستطيع التنافس مع البكتريا المنتجة للأحماض ولا تقوم بدورها إلا في اللبن المعامل بالحرارة الذي تم فيه قتل

البكتريا المنتجة للأحماض . أما التحلل البطيء بواسطة الإنزيمات الداخلية بعد تحليلها فليس له وجود في اللبن تحت الظروف العادية ولكن يمكن حدوثه إذا سمحت المدة بذلك أى بعد وقت طويل كما فى عملية تمليح الجبن .

اللبن المطاط Roby milk

ويحدث القوام المطاط أو اللزج فى اللبن والقشدة والشرش وهذا يمكن أن يكون طبيعياً إذا كان اللبن من حيوانات مصابة بالتهاب الضرع ، أو إذا كانت القشدة سميكة على سبيل المثال عند قمة الزجاج ، أو فى الفيلم السطحى المكون من الكازين أو اللاكتو البيومين أثناء التبريد . أما القوام اللزج أو المطاط والذى ينشأ بفعل البكتريا فإنه يتكون من مواد الكبسولات اللزج الذى يحيط بالخلايا البكتيرية وينشأ عادة فى درجات الحرارة المنخفضة ويقل القوام المطاط اللزج كلما زادت الحموضة وهناك نوعان من هذا القوام اللزج أحدهما ينشأ عند السطح والآخر ينشأ فى كل الكمية وينشأ الأول غالباً نتيجة نمو ميكروبات *Alcaligenes, visicolactis* وهو متحمل للبرودة وينمو جيداً على ١٠م وكذلك ميكروب *Micrococcus* وهو مقاوم للحرارة . أما النوع الثانى من اللزوجة فيتكون من أنواع كثيرة من الميكروبات مثل بكتريا القولون *Enterobacter aerogenes* *Enterobacter cloaca*, والقوام اللزج من هذه البكتريا يكون قريباً من السطح وتقوم بها كذلك ميكروبات *Streptococcus lactis*, *L. Streptococcus cremoris*, *plantarum*, *lactobacillus casei*, *L. bulgaricus* وكذلك بعض البكتريا المنتجة للقلويات ويتنبط نمو هذه البكتريا بالحموضة .

التغير فى الدهن Change in fat

تقوم البكتريا والخمائر والفطريات بتحليل دهن الزبدة والبكتريا التى تقوم بهذه العملية هوائية أو هوائية اختيارية وهى أيضاً محللة للبروتين

وبالرغم من تكون بعض الأحماض عند تحليلها إلا أنها توضع تحت البكتريا الغير منتجة للأحماض . وهي تؤكسد الدهن إلى الدهيدات وأحماض وكيثونات أو تحلله بإنزيمات الليباز أو تستخدم الوسيطتين معا وتقوم بهذه العمليات بكتريا *Clostridium Pseudomonas, Proteus,*

Achromobacter, Alcaligenes, Micrococcus

إنتاج القلوية Alkali production

يقصد بإنتاج القلوية هنا تلك التي يتم بدون أى دليل على تحليل البروتين وهي تنشأ من تكون الأمونيا أو اليوريا أو الكربونات أو الأحماض العضوية مثل الستريك ومعظم أنواع البكتريا هنا من التي تعيش في الحرارة المنخفضة مثل *Pseudomonas, Micrococcus, Alcaligenes*

تغيرات الطعم Change in taste

يمكن أن يكون طعم اللبن الخارج من الضرع غير طبيعي نتيجة لمرض الحيوان أو يرجع إلى فترة الحليب أو نوع الغذاء ولكن يشمل التغير في الطعم الطبيعي نتيجة التلوث ونمو الميكروبات تكون المذاق الحامض أو المر أو الكراميلي . وينشأ الأول من ميكروبات ستربتوكوكس لاكتيس وبقية بكتريا حمض اللاكتيك وهو طعم حامضي نظيف *Streptococcus lactis* . ولكن ينشأ الطعم الحامضي الحاد عندما تتكون أحماض مثل الخليك والبيوتريك عند نمو بكتريا القولون والكلوستريديم والطعم الحامض الأول هو المرغوب فيه والثاني غير مرغوب فيه .

أما الطعم المر فينشأ عند تحلل البروتين وينشأ كذلك عن تحلل الدهون وعن تخمير اللاكتوز والطعم الكراميلي تكونه سلالات من *Streptococcus lactis* وهناك تغيرات أخرى من الطعم المخزون وتسببه ميكروبات

Enterobacter sp والطعم الصابوني وتسببه ميكروبات مكونة للامونيا مثل
Pseudomonas sp

وطعم المولت وتسببه بعض *Micrococcus sp* الصفراء . وطعم البطاطس وتسببه ميكروبات *Pseudomonas sp* . وطعم السمك ويسببه ميكروب *P. ichthyosmia* . وبعض الميكروبات التي تكون مركب التراي ميثيل أمين . الطعم الطيني وتسببه ميكروبات *Actinomycetes* وطعم الفواكه او الطعم الكحولي او الاسبرى وتسببه الخمائر والطعم المتعفن وتسببه بكتريا *Clostridium spp*

تغيرات اللون Change in colour

يتأثر اللون طبيعياً بالتركيب الكيماوى وعلى سبيل المثال كمية الإصفرار الطبيعى فى الدهن وكذلك مدى خفة قوام اللبن ومقدار احتوائه على الدم والصديد . وتحدث التغيرات فى اللون مع التغيرات السابقة التى أوضحناها من قبل وينتج التغير إما نتيجة نمو سطحى لميكروبات ملونة أو فطريات أو يحدث التغير فى لون اللبن كله نتيجة النمو الشامل للميكروب . وأهم التغيرات اللونية المشاهدة هى تكون اللون الأزرق أو الأزرق الرمادى نتيجة نمو ميكروبات *Pseudomonas* . إلا أن اللون الأزرق العميق يتكون إذا نما مع الميكروب ميكروب *Streptococcus lactis* ويتكون اللون الأزرق أيضاً نتيجة *Actinomycetes* وبعض أنواع الفطريات مثل *Geotrichum candidum* .

بينما اللون الأصفر ويسببه ميكروب *P. xynxantha* فى طبقة القشدة وينتج اللون الأصفر أيضاً ميكروب *Flavobacterium* ويوجد أيضاً اللون الأحمر ويكونه ميكروب سراتيا مارسيسنز *S. marcescens* وهو ضئيل الحدوث بسبب نمو بكتريا أخرى بطريقة تغطى على نمو هذه الميكروبات أما

ميكروبات *Brevibacterium erythrogenes* فهي تنتج طبقة حمراء على السطح يتبعها تحلل البروتين ويمكن لميكروب *M. roseus* عند نموه أن يكون طبقة حمراء في القاع أما خمائر *R. glutinis* فهي تكون بقعا حمراء أو قرمزية على سطح القشدة . وهناك اللون البنى وتكونه ميكروبات *Pseudomonas* بواسطة الأكسدة الإنزيمية للتيروزين .

فساد اللبن على درجات الحرارة المنخفضة Spoilage of milk at low temperature
يبدأ الفساد على درجات الحرارة المنخفضة بواسطة ميكروبات من أجناس *Pseudomonas, Alcaligenes, Flavobacterium* وهذه الميكروبات تحدث تغيرات في الطعم واللون والقوام كما سبق أن أوضحنا . وفي درجات الحرارة المنخفضة يكون تحلل البروتين قليلا بسبب ضعف نمو الميكروبات المحللة للبروتين عند هذه الدرجة . أما عند درجة حرارة الغرفة فإن التخمر الحامضي يكون شديد الاحتمال بواسطة بكتريا حمض اللاكتيك السبحية وبكتريا القولون ثم عصويات حمض اللاكتيك الأكثر تحملا للحموضة . ثم تنمو الخمائر على السطح ويؤدي نموها إلى خفض الحموضة مما يسمح بتكون أحماض أخرى حتى تنتهي بكتريا حمض اللاكتيك من إنتاج معظم الأحماض . وفي هذه المرحلة تبدأ الميكروبات المحللة للبروتين في النمو وفي نهاية هذه المرحلة يتحول اللبن إلى سائل رائق عفن الرائحة .

فساد اللبن المكثف والمجفف Spoilage of dried and condensive milk
ويشمل اللبن المكثف وغير المحلى واللبن يعامل بالبسترة أولا ثم يركز بالتبخير على درجة حرارة منخفضة تسمح بنمو الميكروبات الترموفيلية ويعبأ في صفائح ويعامل بالبخار تحت ضغط لقتل كل الميكروبات ولكن إذا كانت المعاملة بالبخار غير كافية بحيث تبقى جراثيم الميكروبات الترموفيلية وتؤدي إلى انتفاخ الصفائح وترسب اللبن وتكون الطعم المر . ويتم الانتفاخ بواسطة

نمو ميكروبات *Clostridium sp* اللاهوائية ويتم ترسب الكازين فى خثرة صلبة بواسطة ميكروبات *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *B. megaterium*, و *B. coagulans* والميكروبين الآخرين مقاومين للحرارة ويمكن أن يتم الفساد نتيجة ثقب Leakage فى الصفائح تؤدي إلى حدوث تلوث خارجى .

لما اللبن المكثف المحلى فيصنع على درجات حرارة من ٧١ - ١٠٠°م فى التسخين المبدئى ثم ٤٨,٩ - ٥٤,٤°م عند التبخير مما يؤدي إلى قتل الخمائر والبكتريا فى الأطوار الخضرية وبالإضافة إلى ذلك توجد به إضافات سكر تعادل ٥٥ - ٦٠% ولذا فإن التلف يتم أساساً من ميكروبات تاتى بعد التصنيع وخصوصاً فى وجرد الهواء وأهم الميكروبات التى تحدث التلف خمائر من جنس *Toruola lactis condensis* وتوريولا جلوبيولا *T.globiola* وقليل ما يحدث التلف بواسطة بكتريا القولون. ويحدث القوام الثقيل بواسطة بكتريا *Micrococcus* التى تفرز إنزيم للرينين الذى يخثر هذا اللبن لو تنمو الفطريات من جنس *Aspergillus*, *Penicillium* ويتحدد نموها بكمية الهواء الموجودة .

فساد الزبد Spoilage of butter

معظم الفساد فى الزبد يرجع أصلاً إلى القشدة التى صنعت منها فإذا تركت القشدة لمدة أيام قبل تصنيعها فإنها تكون عرضة لنمو بكتريا حمض اللاكتيك أو البكتريا المنتجة للأحماض . وكذلك بعض الفطريات مثل *Geotrichum candidum* وبعض الخمائر المخمرة للاكتوز ويمكن أن تحدث جميع أنواع الفساد التى سبق ذكرها فى معرض الحديث عن فساد اللبن فى القشدة ويمكن أن يؤثر نوع الغذاء على طعم القشدة أيضاً فالعلائق التى تدخل فيها الثوم والبصل يظهر تأثيرها فى طعم القشدة . وكذلك بعض المواد المتطايرة التى تعلق فى الهواء مثل الكيروسين والجازولين ومبيدات

الحشرات تبقى راثحتها في القشدة وتنتقل إلى الزبد . أما نمو الميكروبات فيحدث فساداً في طعم القشدة مثل :

طعم الجبن : وتسببه عصويات حمض اللاكتيك .
الطعم الزنخ : وتسببه الميكروبات والخمائر والفطريات المحللة للدهون.

الطعم المخزون : وتسببه ميكروبات *Enterobacter*
طعم المولت : وتسببه ميكروبات *Seritococcus* لاكتس
طعم الخميرة : وتسببه الخمائر *Yeasts*
الطعم العفن : وتسببه الفطريات والأكتينومايسيتات .
الطعم المعدني : ويسببه ذوبان المعادن في القشدة الزائدة الحموضة .

الطعم الحامض : وتسببه البكتريا المنتجة للأحماض .
الطعم الغير نظيف : وتسببه بكتريا القولون *Coliform bacteria*
أما الزبد فيتعرض للتعفن بواسطة *Pseudomonas* ويصل إلى الزبد في ماء الغسيل أو الأواني . والطعم السمكى ويسببه *Sydomonas* المقبض ويسببه *Pseudomonas ichthiosmia* أو الطعم الاسرى ويسببه *P.fragi* أو الطعم المقبض ويسببه *P.mephitica* أو طعم الركفورت ويسببه الفطريات . أما فساد اللون في الزبد فينتج في صورة ألوان تنتج بواسطة الفطريات والبكتريا مثل فطر الأترناريا والكلادوسبوريم وهو يحدث ثلوثاً قائماً بنياً أو مخضراً . أما فطر *Geotrichum* فينتج بقعاً صفراء أو برتقالية وينتج فطر *Fusarium* بقعاً حمراء قرمزية وينتج *Penicillium* بقعاً خضراء أو الخمائر تنتج بقعاً قرمزية . وأما ميكروب *Pseudomonas* فينتج بقعاً ذا لون بني محمر .

فساد الجبن Spoilage of cheese

يمكن تقسيم الفساد الميكروبيولوجي في الجبن إلى قسمين . القسم الأول ويتم أثناء التصنيع والقسم الثاني يتم أثناء التسوية .

القسم الأول من الفساد يتم أثناء عملية تصفية الشرش وفي هذه الأثناء تتم عملية التخمير اللاكتيكي وإذا كانت ميكروبات حمض اللاكتيك غير نشطة ، أو يحدث تلوث كبير بميكروبات أخرى فإن تحولات غير مرغوبة تتم بها يغير من قيمة الجبن النوعية وأخطر أنواع التلوث هي التلوث بميكروبات القولون جنس *Enterobacter aerogenes* والخمائر المخمرة للاكتوز وكذلك الميكروبات اللاهوائية المتجرثة من جنس *Clostridium* وهي تنمو خاصة إذا كان اللبن مبستر أو اللبن الخام إذا لم تكن البادئات جيدة ويحدث التلوث بميكروبات *B. polymyxa* غازات وأضرار أخرى أثناء التصنيع ويمتد أثارها إلى التسوية . وعموما إذا لم تكن بكتريا البادئات في حالة جيدة فإن صفات الخثرة سوف تسوء وذلك لنمو الميكروبات المحللة للبروتين والتي يفسد نموها طعم الجبن وكذلك يتحول قوام اللبن إلى قوام لزج بواسطة بكتريا التربة *P. Viscosa* أو *P. fragi* أو *Alcaligenes*

والفساد الذي يتم أثناء التسوية أو أثناء التملح فإنه يغير الخواص الطبيعية والكيمائية للجبن وينشأ عن الإنزيمات التي تبقى بعد تحلل البكتريا التي تمت أثناء التصنيع وبفعل الميكروفلورا التي تنمو أثناء التسوية . وينتج عن نمو الميكروبات الغريبة عند عملية التسوية سوء القوام والمظهر العام والطعم . ويختلف التغير باختلاف نوع الجبن ومعظم الأنواع يتكون فيها غاز متأخر تكونه الميكروبات المخمرة للاكتات من جنس *Clostridium* . كذلك العصويات الهوائية وبكتريا حمض البروبيونيك ومخمرات اللاكتيك المختلطة والفجوات الغازية مرغوبة في الجبن السويسري ، ولكنها غير مرغوبة في الأنواع الأخرى ويؤدي زيادة إنتاج الغاز في الجبن السويسري إلى التشقق

وهو غير مرغوب فيه ويصحب ذلك تغير في الطعم لإنتاج حمض البيوتريك بواسطة الميكروبات اللاهوائية . ويتكون الطعم المر نتيجة نمو الميكروبات المحللة للبروتين من مجموعات بكتريا القولون ، *Micrococcus* ونادراً نتيجة نمو الخمائر الذي يصحبه طعم حلو مصحوب برائحة الخميرة .

ويحدث الفساد في الجبن التي تتكون فيها أحماض كافية في بداية التخمير بواسطة بكتريا حمض اللاكتيك أو إذا استهلك الحامض المتكون نتيجة نمو البكتريا المخمرة للأكتات مثل *Cl. tyroputricum* أو المنتجات اللاهوائية مثل *Cl. sporogenes Cl. lentoputrescens* وينتج اللون الأسود نتيجة تكون السلفيدات ويصحبها طعم سيئ نتيجة نمو ميكروب *Bacterium Proteoliticum* وينتج اللون أثناء تسوية الجبن ربما لتأثير الميكروبات على المواد الملونة المستخدمة في صناعة الجبن مثل الجبن الشيدر لو أن تكون الميكروبات ملونة لو أن تفرز ألواناً داخل الجبن . وينتج اللون الأخضر أو الأزرق أو الأسود نتيجة تفاعل يد ٢ كب المنتج من الميكروبات مع المعادن أو الأملاح المعدنية وتتفاعل مجموعة السلفوهيدريل التي تفرزها البكتريا في بعض إفرازاتها لتعطى لونا قرمزيًا إلى طينيا وتنتج الألوان الحمراء أو البنية أو الرمادية البنية نتيجة أكسدة التيروسين في الجبن الطرى . والبقع الصدئية في الجبن الشيدر تنتج من نمو ميكروبات *L. plantarum L. brevis* بينما البقع البنية أو الصفراء أو القرمزية على سطح العيون في الجبنة السويسري فإنها تكون نتيجة نمو ميكروبات حمض البروبيونيك .

كذلك يفسد الجبن التام النضج حسب نسبة الرطوبة به فالجبن الطرى يكون أكثر تلفاً من الجبن الجاف وأهم أنواع الفساد التي يخشى منها في الجبن الجاف هو نمو الفطريات على السطح أو في الشقوق أو في الفجوات وحتى الجبن الذي يعتمد على نوع معين من الفطريات في التسوية يمكن أن يتلف بأنواع أخرى من الفطريات . ومعظم أنواع الجبن الجاف له قشرة تحميه نوعاً

ما من التلف بالبكتريا ولكنها ليست جافة بالقدر الكافى حتى تحمى الداخل من التلف بالفطريات وتكون معظم الفطريات بقعا ملونة محدودة على السطح وغير متعمقة ولكن بعض الفطريات يكون عفنا خفيفا متعمق من داخل الجبن .

الأمراض التى تنتقل باللبن Milk borne diseases

يمثل الحيوان المريض المصدر الرئيسى لتلوث اللبن يليه فى ذلك الإنسان سواء كان مريضا أو حاملا للميكروب Carrier ولذلك يجب عزل الحيوان المريض وإجراء عملية بسترة اللبن .

١ - أمراض تنتقل من الحيوان المصاب إلى اللبن

(أ) التهاب الضرع Mastitis

ويسببه ميكروب *Streptococcus agalactis* وهذا الميكروب غير ممرض للإنسان بينما هناك أنواع خطيرة أخرى مثل *Streptococcus pyogenes* حيث يسبب أيضا التهاب الضرع ولكن إذا أصاب الإنسان يسبب التهاب الزور. وكذلك ميكروب *Staph. aureus* الذى يسبب التسمم الغذائى للإنسان .

(ب) مرض السل Tuberculosis

ويسببه ميكروب *Mycobacterium tuberculosis* الذى يصل إلى اللبن من الحيوان المصاب أو من الروث .

(ج) الحمى المالطية (المنقطعة) Malta fever

ويعتبر مرض الـ Brucellosis من الأمراض الخطيرة التى تصل للإنسان عن طريق اللبن ويسببه ميكروب *Brucella abortus* وكذلك ميكروب *Brucella melitensis* حيث توجد بالماشية والخنازير والماعز ويسبب ميكروب *B.abortus* مرض الإجهاض فى الماشية مما يسبب خسائر فى الثروة الحيوانية .

د- التسمم بالسالمونيلا Salmonellosis

وتسببه أنواع من جنس *Salmonella* التى تصيب الحيوان وقد تصل اللبن من البول والروث وكذلك اللحم المصاب وهذا يسبب للإنسان تسمم غذائى وقد حدث فى إحدى السنوات انتشار وباء التيفود فى أبردين بانجلترا خلال تناول الناس لحوم باردة ملوثة بالميكروب المسبب *Salmonella typhi* وقد وصل الميكروب للحم من آلة التقطيع حيث تكاثر الميكروب وجرى المرض مجراه ثم أدى إلى الحمى والقئ والإسهال وغير ذلك من الأعراض المعروفة لهذا التسمم كما سبق ذكره .

٢- أمراض تنتقل من الإنسان المصاب إلى اللبن

وهذه الأمراض تنتقل ثانياً إلى الإنسان مرة أخرى أى أن اللبن يعتبر عامل نقل من إنسان مريض إلى آخر سليم وهذه الأمراض مثل الحمى التيفية والكوليرا والدوسنتاريا والدفترية (الخناق) والتهاب الزور المعدي وكذلك مرض السل وتسمى هذه الأمراض Zoonotic diseases .

الفصل الرابع عشر : ميكروبيولوجيا الأغذية

ميكروبيولوجيا الأغذية

Food Microbiology

أولاً : تلوث الغذاء Contamination of Food

يحدث التلوث الميكروبي للمواد الغذائية سواء كانت نباتية أو حيوانية سائلة أو صلبة سواء كانت على حالة مواد خام أو أثناء مراحل الإنتاج والتصنيع كما قد يحدث أيضاً بعد الإنتاج وخلال عمليات النقل والتداول أو التخزين . وعموماً تختلف أنواع الميكروبات الملوثة وأعدادها تبعاً لنوع المادة وطريقة إنتاجها وتداولها وكذلك درجة العناية الصحية خلال كل هذه المراحل . ومن أهم الشروط الواجب مراعاتها للحصول على ناتج غذائي جيد يحتفظ فيه الغذاء بصفاته الطبيعية والكيميائية فإنه لابد من أن تبدأ عمليات الحفظ أياً كانت بمادة خام جيدة من الناحية الميكروبيولوجية . حيث أن استخدام مواد خام تالفة أو بدأ فيها الفساد يتسبب في إضافة أعداداً كثيرة من الميكروبات وهذه تستوجب معاملات إضافية مثل زيادة درجات الحرارة إذا ما كانت الحرارة وسيلة الحفظ أو إطالة التعريض للتسخين وهذا يؤثر قطعاً على نوع المنتج النهائي وأيضاً زيادة التكلفة .

كما يجب تجنب استعمال مواد خام ملوثة بمياه المجارى والخضروات المزروعة في أراضى تروى بمياه مجارى غير معاملة . أو ثمار عليها كميات من التربة أو الطين قبل أن يتم غسلها جيداً عدة مرات بما يضمن إزالة هذا التلوث . هذا وتعرض الأغذية بمختلف أنواعها للتلوث الميكروبي من مصادر عديدة منها الطبيعي ومنها ما يصلها عن طريق التداول والتصنيع كما يأتي :

أ : المصادر الطبيعية للتلوث الغذائي

Natural sources of food contamination

تحمل النباتات والحيوانات ميكروبات موجودة طبيعياً على سطوحها. Natural flora الخارجية وكذلك قد تتعرض للتلوث بميكروبات أخرى مفسدة لو ممرضة من مصادر متعددة وفقاً للوسط المحيط . وهذا للتلوث يشكل خطراً جسيماً حينما يمتد إلى الأنسجة الداخلية للمادة الغذائية التي غالباً ما تكون خالية تماماً من الميكروبات إذا كانت من أصل غير مصاب وبذلك تسبب تغيرها وفسادها ويمكننا ذكر هذه المصادر الطبيعية على سبيل المثال لا الحصر كالآتي :

١- التلوث من المياه Contamination from water

لقد تلوث الماء عندما تدخل الإنسان في قوانين البيئة التي منها خالق كون عز وجل وكان ذلك أحد نتائج الثورة الصناعية العلمية والطفرة الحضارية وما لها من آثار مدمرة على البيئة كلها. ويختلف المحتوى الطبيعي للميكروبي للماء حسب مصدره ، ويتراوح في تركيزه من أعداد قليلة في المياه الجوفية إلى عدة مئات/سم³ في المياه الجارية كالأنهار. ونتيجة التلوث بالمجاري أو بالتربة أو بالحيوانات النافقة فإن هذا المحتوى الميكروبي يزداد كثيراً . والمقصود بتلوث الماء هو إحداث تلف أو إفساد لنوعية المياه حيث تصبح ضارة ومؤذية غير صالحة للإنسان أو الحيوان أو النبات أو الأحياء المائية .

وللأهمية العظمى للمياه في التصنيع الغذائي والحفظ فإن محتواها الميكروبي يؤثر تأثيراً كبيراً على الأغذية حيث ينتقل كثير من الأمراض الخطيرة عن طريق المياه الملوثة بمياه الصرف الصحي مثل البكتيريا المسببة للإسهال والحمى والدوسنتاريا والكوليرا ومسببات التهاب الكلى والكبد والجهاز العصبي المركزي لذلك فإنه يجب حماية مصدر الماء المستعمل من

التلوث بمياه المجارى ثم معاملة المياه وتنقيتها بحيث تصبح صالحة للاستهلاك الأئمي سواء الاستخدام المباشر أو فى التصنيع الغذائى .

٢- التلوث من التربة Contamination from soil

تحتوى التربة على أنواع وأعداد وفيرة من الأحياء الدقيقة تلوث أسطح النباتات الموجودة بها وكذلك تلوث أجسام الحيوانات الراحية عليها . ومن مجاميع الأحياء الدقيقة الموجودة بالتربة ، البكتريا الحقيقية والراقية مثل الأكتينومييسيتات وبكتريا الحديد والخميرة والفطريات والطحالب وعند التداول أو التصنيع تغسل الأغذية جيدا للتخلص مما بها من أتربة وأحياء دقيقة على أن يتجنب تلويثها مرة أخرى بعد ذلك بآدر الإمكان. وتزداد خطورة التلوث من التربة إذا كانت قد وصلها مياه المجارى غير المعاملة والتى بالتاكيد تحتوى على ميكروبات ممرضة خطيرة .

٣- التلوث من مياه المجارى Contamination from sewage

تشكل مياه المجارى غير المعاملة خطورة بالغة الأهمية إذا ما استخدمت فى تسميد النباتات خاصة الخضر منها خاصة تلك التى تؤكل بدون طهى فإنها تلوثها بالميكروبات التى قد تكون من بينها ميكروبات معوية ممرضة كما أن مياه الأنهار والبحار يلقى بها ماء مجارى مما يلوث الأسماك والأغذية البحرية الموجودة بها .

٤- التلوث من الحيوانات Contamination from animals

الميكروبات الطبيعية الموجودة على جسم حيوانات اللحم ليست بذات أهمية إذا ما قورنت بتلك الموجودة بالأمعاء أو بالأحشاء أو بالشعر أو بريش الطيور التى تحتوى على أعداد كبيرة من ميكروبات التربة والأسمدة العضوية ومواد العلف والماء وقد يكون من بينها ميكروبات ممرضة . وتحمل السطوح الخارجية للأسماك والأغذية البحرية ميكروبات طبيعية ذات أهمية فى فسادها .

٥ - التلوث من الهواء Contamination from air

الهواء العادى لا يحتوى عادة على ميكروبات طبيعية Natural flora ولكن الميكروبات الموجودة به تأتى من المواد المعلقة والأتربة وقطرات الماء ومن الرذاذ المتناثر أثناء الكلام والعطس . ومن جراثيم الفطريات النامية على الحوائط والأرضيات كما يتلوث الهواء من المنتجات الغذائية ومصانعها فمصانع إنتاج الخميرة يكون الجو حولها محملاً بالخميرة ومصانع المنتجات اللبنية يحتوى الجو المحيط بها على البكتريوفاج وميكروبات البائنات المستعملة فى إنتاج المواد الغذائية المختلفة .

ولأنواع الميكروبات العالية التى توجد بالهواء هى الأنواع صغيرة الحجم والمتحملة للجفاف مثل جراثيم الفطريات والبكتريا الكروية والجراثيم البكتيرية وبعض العصويات والخمائر خاصة التى لا تكون جراثيم Asporogenous yeast وعندما يثار التراب أو المواد الأخرى فإن الهواء يتحمل بميكروبات المواد المتلثة مثل ميكروبات الأراضى والمياه والنباتات السخ بالإضافة إلى الميكروبات الممرضة التى تنتقل عن طريق الجهاز التنفسى بالعطس .

ويتوقف عدد الميكروبات الموجودة بالهواء فى وقت ما على عوامل عديدة منها مقدار الحركة وضوء الشمس والرطوبة والحرارة وكمية المواد المعلقة من أتربة ورذاذ وخلافه وكذلك الموقع ويقل عدد الميكروبات بالهواء بتأثير ضوء الشمس وعقب مطر غزير وفى الجو الساكن ترسب المواد العالقة بما عليها من ميكروبات فيقل عددها وبالعكس فإن تحريك الهواء نتيجة لحركة الناس أو بالتهوية والتنفس يزيد من عدد الميكروبات ، كما أن الأماكن المزدحمة بالناس وغير المهواة يزيد عدد الميكروبات بها مما يشكل خطورة على الصحة العامة . لذلك فإن الأغذية خاصة المكشوفة عرضة للتلوث من الهواء خاصة إذا كان الهواء محملاً بعدد كبير من الميكروبات وقد يكون من بينها ميكروبات ممرضة خاصة التنفسية .

٦- التلوث الإشعاعي للغذاء Contamination from radiation

يتلوث الغذاء بالمواد المشعة نتيجة تساقط الغبار الذرى على النباتات والتربة الزراعية . كما يتلوث الغذاء أيضاً بسبب تلوث الهواء والماء بالإشعاع الناتج من الانفجارات أو التجارب النووية . وتدخل المواد المشعة إلى جميع أجزاء النبات ثم تنتقل إلى الإنسان عبر سلسلة الغذاء . وتتلوث الحيوانات والأسماك والأحياء المائية أيضاً بالإشعاع نتيجة المخلفات النووية فى الهواء والمسطحات المائية .

٧- التلوث الكيميائى Contamination from chemicals

لقد فسد الغذاء وأصبح سبباً للعلل والأمراض بدلاً من أن يكون مصدراً للطاقة والصحة . وأصبح الناس يتناولون طعاماً بدون مذاق وتعددت الأسباب التى ساهمت فى تلوث الغذاء الكيميائى ومنها :

أ- استخدام المبيدات الحشرية السامة على نطاق واسع وتمتص النباتات هذه المبيدات الحشرية مع الماء وتتركز فى جميع أجزائها وثمارها ومن ثم تصبح الثمار سامة لمن يتناولها من الإنسان أو الحيوان .

ب- استخدام المواد الكيماوية الحافظة فى التعليب والصناعات الغذائية .

ج- استخدام الألوان والصبغات ومكسبات الطعم والرائحة فى الصناعات الغذائية مثل صبغة النعناع الأخضر وصبغة رقائق البطاطس والألوان المشابهة للون البرتقال . ولقد ثبت بما لا يدع مجالاً للشك دور هذه المواد فى إحداث الأورام السرطانية الخبيثة كما ثبت أيضاً أن مادة ٤ ثانى ميثيل أمينوازوبنزول التى تستخدم لصنع السمن الصناعى من أكثر المواد فاعلية فى إحداث الأورام فى الإنسان .

د- استخدام الأسمدة الكيماوية فى الأراضى الزراعية .

هـ- استخدام الهرمونات لتسمين الدواجن والحيوانات علاوة على أقراص منع الحمل التي يثبت علاقتها الوطيدة بالأورام السرطانية كذلك حقن الدواجن بالمضادات الحيوية أو إضافتها إلى عليقة الماشية .

و- رش الفواكه بالمواد الكيماوية الحافظة لحمايتها من التلف عند نقلها من مكان الإنتاج إلى مكان الاستهلاك .

ب : التلوث الغذائي أثناء التداول والتصنيع

Food contamination during handling and processing

بالإضافة إلى مصادر التلوث سابقة الذكر ، فإن الأغذية قد تتلوث أثناء عمليات التداول غير الواعية وأيضاً خلال عمليات التصنيع غير المراعى فيها الشروط الصحية بدقة ، ولذلك فإنه ينصح الصانع دائماً بتنظيف وتطهير الأجهزة والأواني المستعملة وكذلك المكان والأرضيات وكذلك القائمين على عمليات التصنيع المختلفة وخلال المراحل المختلفة وذلك للإقلال من التلوث بقدر الإمكان ويمكن ذكر هذه الأمثلة كالاتى :

١- الفواكه والخضروات Fruits and vegetables

تتعرض الفواكه والخضر بعد جمعها مباشرة للتلوث بالميكروبات من الأوعية التي تجمع فيها أو من بعضها البعض ويزيد تأثير هذه الميكروبات إذا ما تعرضت الخضر والفاكهة للضرر الميكانيكى Mechanical damage أثناء الجمع والنقل لذلك فإن فرز وإبعاد الخضر والفواكه الفاسدة والغسيل بمطهرات والعناية أثناء النقل يقلل من عدد الأحياء الدقيقة ومن احتمالات التلوث. وفى التصنيع تتعرض هذه الأغذية للتلوث بدرجة أكبر خلال عمليات التقشير والتقطيع وفى ملامسة أدوات وأجهزة المصنع المختلفة لذلك فإن العناية بعمليات التصنيع مع تنظيف وتطهير الأجهزة والأدوات يقلل من التلوث . ونظراً لأهمية ذلك تحت ظروفنا وأن مصر من الدول المصدرة للخضروات والفاكهة فإنه من الأهمية بمكان نكر الآتى باختصار :

أ- تلوث الفاكهة الطازجة Contamination of fresh fruits

تحمى القشرة الخارجية للفاكهة الأنسجة الداخلية من الميكروبات الموجودة على السطح الخارجى فإذا ما خدشت هذه القشرة تسربت الميكروبات إلى داخل الثمرة حيث توجد المركبات التى يسهل على الميكروبات مهاجمتها كالسكريات مثلاً ويكون نتيجة ذلك تلفها . لذلك فإنه يجب المحافظة بقدر الإمكان على بقاء القشرة سليمة ومن المعروف أن الثمار السليمة الصحيحة يكون داخلها خالياً من الميكروبات حتى ولو كانت القشرة الخارجية ملوثة. وغالباً ما تنتمي الميكروبات الموجودة على قشرة الفاكهة إلى أنواع عديدة منها ميكروبات نافعة مثل الخميرة الموجودة على قشور العنب والتي تساعد فى عملية التخمر المطلوبة عند صناعة النبيذ وميكروبات ضارة ينتج عنها فساد أثناء التداول أو النقل والتصنيع وهذه الميكروبات يجب التخلص منها وميكروبات أخرى ممرضة نتيجة التلوث بمياه المجارى .

ولتلافى حدوث الأمراض التى تسببها هذه الميكروبات الممرضة فإنه يجب غسل سطوح الفاكهة بمحلول مطهر لمدة كافية ثم تغسل جيداً بعد ذلك بالماء النظيف الجارى ومن المحاليل المستعملة CaCl_2 بتركيز ٠,٢ - ٢ % وتغمس فيها الفاكهة لمدة ١/٢ ساعة . وكذلك يستعمل الخل كوسيلة شائعة فى المنازل خاصة للثمار التى تؤكل بدون طهى ولقد أوضحت التجارب البحثية أن الأجزاء الفاسدة أو المعطوبة من الثمار من الصعب تطهيرها من البكتريا الموجودة بها وذلك لصعوبة وصول المحلول المطهر إلى جميع الخلايا الفاسدة وكذلك لتجنب تأثير المطهر المستخدم على الصحة العامة للمستهلك . ولذلك يجب قطع الجزء المصاب تماماً من هذه الثمار واستعمال الأجزاء المتحللة من الفاكهة فى تحضير العصير يؤدي إلى زيادة المحتوى الميكروبي وبالتالي الإسراع فى الفساد وتقصير فترة حفظه .

والذواكه التى ليس لها قشرة سميكة تحميها مثل البلح الرطب والتين البرشومى والتوت أو الخنصر مثل الفراولة يخشى منها فى نقل الأمراض حيث أنه لا يمكن معالجتها بالمحاليل المطهرة إذا لوثت وفى هذه الحالة تعد هذه الفواكه أيضاً عرضة للتلوث السريع بواسطة البائعين ومن الذباب والهواء وخلافه . والميكروبات التى توجد بكثرة على سطح الفواكه هى الفطر كما فى الموالح مثل فطريات *Penicillium spp* والخميرة *Saccharomyces cerevisiae* كما فى العنب لأن الفواكه عموماً حامضية .

ب- تلوث الخضروات الطازجة Contamination of fresh vegetables

يختلف تلوث الخضروات عن ما سبق ذكره فى الفاكهة حيث أن الخضروات تنمو بالقرب من سطح الأرض بعكس الفاكهة التى توجد بعيداً عن الأرض ، وبذلك فهى تحمل ميكروبات عديدة مختلفة كما أنها عرضة للتلوث الشديد بالميكروبات الممرضة حيث يستعمل السماد البلدى ومخلفات المجارى غير المعاملة فى تسميدها أو تغسل بعد جمعها فى مياه راكدة ملوثة فتصبح عاملاً كبيراً فى نقل الأمراض وكثيراً ما يحدث هذا فى الريف المصرى .

والخضروات السليمة غير الممزقة أو المجروحة تكون خالية من الداخل من الميكروبات حتى ولو كان السطح الخارجى ملوثاً وذلك كما فى حالة الفاكهة ولقد وجد أنه ليس من السهل إزالة البكتريا العالقة بـ سطح الخضروات بالغسيل أو بماء محتوى على خل ومن الخضروات التى يجب التأكد من خلوها من الميكروبات الممرضة قبل تناولها الخضروات التى تؤكل طازجة بدون طهى مثل أنواع السلاطة والكرفس والبقدونس والفجل والجرجير والخس والبصل الأخضر والخيار والطماطم . كذلك أثبتت التجارب البحثية أن نقع الخضروات فى الماء يعمل على توزيع الميكروبات على جميع أجزائها ولا يقلل هذا التلوث إلا استخدام المواد المطهرة فى ماء الغسيل .

٢- الحبوب Cereals

تحتوى السطوح الخارجية للحبوب على بعض الميكروبات الطبيعية منذ نموها بالإضافة إلى ما وصل إليها من تلوث من التربة والمصادر الأخرى . وإذا ما خزنت الحبوب تحت ظروف رطبة فإن الفطريات تنمو ، ويلاحظ أنه أثناء عملية الطحن فإن عدد الميكروبات يقل لخروجها مع القشرة الخارجية للحبوب ، ولكن قد يحدث التلوث بعد ذلك نتيجة للتداول السيئ . وللحبات دوراً كبيراً في تلوث الحبوب والبنور أثناء التخزين حيث ينتج بعضها سموم خطيرة من الأفلاتوكسينات التي ينتجها فطر *Aspergillus flavus* وسمطح الرغيف الطازج المخبوز يخلو تقريباً من الميكروبات ذلك عقب خروجه من الفرن مباشرة ولكنه يتعرض للتلوث بجراثيم الفطريات من الهواء الجوى ومن السكاكين المستعملة فى التقطيع ومن العبوات المستعملة إذا كانت غير نظيفة ومن أشهر هذا التلوث نمو فطر *Rhizopus nigricans*

٣- السكر والعسل Sugar and honey

قد يصبح المحتوى الميكروبي للعصير الخام عالياً خاصة إذا ترك فترة طويلة قبل تصنيعه حين يكون التلوث من قصب السكر نفسه والذي يكون مصدره أساساً من التربة . هذا وأثناء عملية التصنيع وما يتخللها من ترشيح وترويق وحرارة وتركيز وبلورة ، فإن عدد الميكروبات قد يقل ولا يبقى سوى الميكروبات المتجرثة المحبة للحرارة المرتفعة *Thermophilic bacteria* ، ومصدر هذه الميكروبات هو المادة الخام ومعدات التصنيع الغير نظيفة. وتمثل الخميرة *Yeast* المصدر الرئيسى لتلوث عسل النحل وكذلك بعض أنواع البكتيريا التي تتحمل تركيز السكر العالى *Osmophilic bacteria* ، ويرجع مصدر هذا التلوث أساساً إلى رحيق الأزهار وحشرات النحل والهواء وكذلك التربة وأثناء التداول .

٤- اللحوم و الأسماك Meat and fishes

أ- اللحوم :

إن الأنسجة الداخلية للحيوانات والطيور السليمة تكاد أن تخلو من الميكروبات ويحدث التلوث لهذه الأغذية من خارج الحيوان من الحوافر والجلد والشعر والريش ومحتويات الأمعاء والماء والروث والغذاء . كما يحدث التلوث أثناء الذبح والسلخ من السكاكين والأيدي والذباب والهواء ومن الصناديق والعبوات والأشخاص . ويحدث التلوث أيضاً أثناء التداول والتصنيع ، وفي المنازل يكون هناك مصدر إضافي للتلوث هو عبوات الثلجات غير النظيفة . ونظراً لتعدد مصادر تلوث اللحم ، فإنه من المتوقع أن يوجد عليها أنواع عديدة من الميكروبات :

أ- من أهم الفطريات التي تتواجد على سطح اللحم الأجناس :

Cladosporium, Sporotrichum, Thamnidium, Mucor, Aspergillus, Alternaria, Penicillium

ب- ومن الخمائر يكثر وجود الأنواع التي لا تكون جراثيم *Fungi Imperfecti*

ج- ومن البكتيريا يوجد : *Pseudomonas, Achromobacter,*

Flavobacterium, Micrococcus, Coliform, Proteus, Sarcina, Sporeformers, Streptomyces

ومعظم الميكروبات السابقة تستطيع أن تنمو عند درجة حرارة منخفضة قرب الصفر Chilling وبالإضافة إلى الميكروبات السابقة فقد تتعرض اللحم ومنتجاتها للتلوث كذلك بالميكروبات المعوية الممرضة للإنسان والتي تنتمي لعائلة *Enterobacteriaceae* . وفي دراسات بحثية بقسم الميكروبيولوجيا بكلية الزراعة جامعة المنصورة وجدت ميكروبات من جنس *Salmonella* و جنس *Staphylococcus* في اللحوم واللانشون وكلاهما من الميكروبات الضارة والتي تسبب أمراضاً خطيرة وتسممات للإنسان حيث

يسبب الميكروب الأول *S. typhi* حمى التيفود بينما يسبب الميكروب الثانى التسمم العنقودى *Staph-aureus* .

ولثبتت هذه الأبحاث العلمية أن خطورة هذه الميكروبات ليست فقط فى إحداث التغيرات فى اللحم ومنتجاته وإنما فى إنتاج مواد سامة خطيرة تسمى بالأمينات عديدة *Polyamines* والتي تسبب بعض الأمراض الخطيرة للإنسان نتيجة تراكمها فى الأنسجة مثل الكبد والكلى والبنكرياس .
ب- الأسماك

الأسماك من الأغذية الهامة فى كثير من بلاد العالم ، وهى المصدر البروتينى الثانى الذى نعيش عليه ، لذلك عنت الامم بتحضيرها وحفظها والميكروبات الموجودة على سطح السمك هى نفس الأنواع الموجودة فى الماء الذى أتت منه وأهمها : *Pseudomonas, Achromobacter,*

Flavobacterium, Micrococcus, Sarcina, Serratia, Bacillus

وبالإضافة إلى ما سبق فقد وجد بأمعاء الأسماك *Coliform* كما وجد ميكروبات لا هوائية من جنس *Clostridium* . ويحدث تلوث الأسماك من الصيادين وقوارب وأدوات الصيد ، كما أن حالة السمك البكتريولوجية تتوقف على مصدر الصيد ، لذلك كان من الضرورى أن يكون الصيد من مياه غير ملوثة بمياه المجارى ، وإلا تلوث السمك بالميكروبات الممرضة المعوية وأصبح خطراً على الصحة ، خاصة أنه قد وجد أن الطهى غير كاف لقتل هذه الميكروبات الضارة ، وقد حدثت بالميكروبات الضارة والتي تنتقل إلى أنسجة السمك أثناء التنظيف حالات انتشار تيفود وتسمم من أكل سمك ملوث مطبوخ نتيجة لتلوث الطبقة الخارجية للزجة .

وكلما طالت مدة تخزين السمك وتداوله وتسويقه كلما كان أكثر عرضة للتلوث ، حيث أن التلوث الأكيد للسمك يحدث أثناء عملية النقل

والتوزيع . ويلجأ بعض الصيادين إلى نزع الأحشاء الداخلية للسماك عقب صيدها مباشرة لإطالة مدة الحفظ ، ولقد وجد أن ذلك يزيد من تلوث لحم السمك بالأحياء الموجودة بتلك الأحشاء وقد وجد بالدراسة أن فتح الأسماك وتنظيفها قبل التخزين يؤدي إلى تقليل مدة الحفظ كما وجد أن عملية قلى السمك تقلل من الميكروبات الموجودة بسطح السمك خاصة عند إزالة هذه الطبقة (القشرة) عند الأكل ، وقد أثبتت الأبحاث أيضاً وجود بعض الأجناس الضارة مثل جنس *Salmonella* و جنس *Staphylococcus* بالأسماك الخام والتي تم إيلانتها بعملية القلى ، بينما الأسماك المشوية تكون نسبة التلوث البكتيري عالية نظراً لوجود أحشائها والتي بها كم هائل من الميكروبات والتي تسبب التلوث عند الأكل خاصة الميكروبات التي تقاوم درجات حرارة الشئ كذلك تحتوى كل من الكابوريا والجمبرى والأغذية البحرية الأخرى على ميكروبات عديدة بالمسطح اللزج لأجسامها .

٥- الدواجن و البيض *Poultry and Eggs*

أ- الدواجن :

تحتوى الدواجن حديثة الذبح على مجموعات مختلفة من البكتريا على سطح الدواجن وذلك من الوسط الذى تمت فيه عملية الذبح وعملية الإعداد الغير واعية ، وكذلك الهواء المحيط بالحيز الذى تمت فيه العملية ، وكذلك التلوث من الريش ، وكذلك أدوات التنظيف . وينتشر بالدجاج أنواع من جنس:

Bacillus - Pseudomonas - Micrococcus

ب- البيض :

يكون البيض الطازج السليم معقماً داخلياً ، ولكن بمجرد وضع البيض يتعرض السطح الخارجى للقشرة للتلوث فى الحال بالمواد البرازية للطيور ومن محتويات العشش وأثناء التداول . وتعمل القشرة الخارجية

السلامة على حماية محتويات البيض الداخلية من الفساد غير أنه إذا ما رطبت القشرة بالماء بتأثير الغسيل أو من جو المكان الرطب ، فإنه يمكن للميكروبات الملوثة مثل الفطريات والبكتريا من أن تتفد من خلال تقوُب القشرة الرطبة إلى داخل البيضة مسببة تلوثها وفسادها ، كذلك إذا تشققت القشرة ، ونظراً لأن البيض يحفظ على درجة حرارة منخفضة قرب الصفر (٢°م تقريباً) ، لذلك نجد أنه أثناء التخزين يكون معرضاً للفساد بالفطر أكثر من البكتريا ، كما أن وجود البكتريا التي تستطيع النمو على درجة حرارة منخفضة *Psychrotrophic bacteria* مثل : *Pseudomonas, Proteus, Achromobacter* تصبح ملوثات غير مرغوب فيها.

وقد أثبتت الأبحاث العلمية أن ظروف التخزين بالثلاجات تقلل من معدل النمو الميكروبي وإفرازها للإنزيمات ، ولكن لا يتوقف نموها تماماً .

ثانياً : فساد الغذاء Spoilage of Food

قد يحدث فساد المادة الغذائية نتيجة نشاط الإنزيمات الداخلية للغذاء أو نتيجة لنشاط الميكروبات أو الاثنين معاً . هذا وتنقسم الأغذية بالنسبة لقابليتها للفساد إلى ثلاثة أقسام هي أغذية ثابتة وغير قابلة للفساد : وهي التي تكون نسبة رطوبتها منخفضة جداً مثل السكر والبن والنشا والدقيق . أغذية بطيئة الفساد : وهذه مثل البطاطس والمحاصيل الدرنية الأخرى ولا يحدث الفساد في هذه الحالة إلا إذا تم خدش الدرنه مما يسبب التلوث الخارجي ثم الفساد بعد ذلك وكذلك بالنسبة للفاكهة . أغذية سريعة الفساد : وهذه مثل اللحوم والأسماك واللبن وذلك نظراً لقيمتها الغذائية العالية ولمحتواها العالي من البروتين وكذلك نسبة عالية من التلوث الميكروبي . وتتوقف سرعة الفساد وطبيعته على نوع البكتريا المفيدة وتركيب الغذاء وكذلك المحتوى المائي ونسبة الحموضة ودرجة الحرارة ومدى تلوث المادة الغذائية .

ورغم الاختلافات في نوع الغذاء والطرق التي اتبعت في تداوله فإنه يمكن القول من الناحية العلمية أن كل أنواع الميكروبات تكون ملوثة للأغذية، وأن نوع المادة الغذائية وطريقة التصنيع والحفظ قد تعطى الأفضلية لبعض الميكروبات أو بعض أنواع معينة من الميكروبات أن تكون ملوثة له. ومن المعروف أن معظم المواد الغذائية تعتبر بيئات جيدة لنمو وتكاثر أنواع عديدة من الميكروبات وعندما تعطى الفرصة لهذه الميكروبات لتنمو فإنها تحدث تغيرات في المظهر والنكهة والطعم علاوة على تغييرها لبعض المكونات الأخرى للغذاء .

ولن التغيرات التي تحدثها الميكروبات في الأغذية ليست محددة بنتيجة التحلل الذي يحدث في الغذاء فقط ، ولكن أيضا قد تكون نتيجة ظهور النواتج النهائية التي تتكون من التمثيل الغذائي للميكروب ، فمثلا بعض الميكروبات تلون الأغذية نتيجة إنتاجها للصبغات ، كما أن بعض الميكروبات تكسب الأطعمة قواما لزجا وهذا يرجع إلى قدرتها على إنتاج بعض السكريات العديدة polysaccharides وهي مكونات الكبسول البكتيرية .

أسباب الفساد الغذائي :

والفساد عموما يشمل تلك التغيرات التي تجعل الغذاء غير جذاب وغير صحي وعلى الرغم من الاختلافات الموجودة بين الأفراد للحكم على صلاحية الغذاء للاستهلاك إلا أنهم يتفقون على بعض النقاط الأساسية التي يجب توافرها للتحقق من صلاحية الغذاء وهي أن يكون الغذاء على درجة النضج المرغوبة ، أن يخلو الغذاء من التلوث عند أي مرحلة من مراحل الإنتاج والتداول ، أن يخلو الغذاء من التغيرات الغير مقبولة التي تنتج عن إنزيمات الغذاء أو مهاجمة الميكروبات .

ويجب أن يلاحظ أن التغير الذي يحدث في بعض الأحيان في بعض الأغذية قد يعتبر فساداً بينما يعتبر تغيراً مرغوباً في حالات أخرى ومن أمثلة ذلك التخمر اللاكتيكي فإذا ما حدث في اللبن الخام السائل اعتبر فساداً بينما يعتبر تغيراً مفيداً ومرغوباً عند صناعة اللبن الزبادى وكذلك عند تكون حامض اللاكتيك في صناعة المخللات فهو من التغير المرغوب والمطلوب ويحدث الفساد نتيجة للتغيرات غير المرغوب فيها التي يحدثها نمو ونشاط الكائنات الحية الدقيقة ، فعل أنزيمات الغذاء النباتي أو الحيواني ، التغيرات الطبيعية : مثل تلك التي تحدث نتيجة معاملة الغذاء بالحرارة المنخفضة أو بالتجفيف أو التي تحدث نتيجة تأثير الإشعاع ، فقد يسبب الضوء العادى تغيراً في لون المادة الغذائية أو في طعمها ، لذلك فإن كثيراً من الأغذية السائلة تحفظ بعيداً عن الضوء أو في زجاجات بنية ، الحشرات : حيث تعتبر عامل مهم في نقل مسببات المرضية إلى الغذاء .

وبالنسبة للفساد الأنزيمي ، فإن أنزيمات الغذاء النباتية أو الحيوانية تستمر في عملها بعد جمع النباتات أو بعد ذبح الحيوانات وإذا لم تتلف هذه الإنزيمات فإنها تسبب فساداً للأغذية أثناء تخزينها أو تصنيعها مثل الإنزيمات المؤكسدة والمحللة للبروتين والنشا والدهون وغالباً فإن المعاملات المستخدمة لحفظ الغذاء من الفساد الميكروبي تتلف الإنزيمات النباتية والحيوانية .

والفساد الميكروبي هو أهم العوامل التي تفسد الأغذية يليه الفساد الأنزيمي ويتسبب الفساد الميكروبي عن البكتيريا أو الخميرة أو الفطر بما فيها من أنواع ممرضة أو غير ممرضة. وسوف نركز كلامنا في هذا الجزء من الكتاب على الفساد الميكروبي. هذا وتقسم الأغذية إلى ثلاثة مجموعات على أساس سرعة تلفها إلى أغذية غير قابلة للتلف : unperishable foods مثل السكر والحبوب والدقيق وهي لا تفسد إلا إذا تناولت بإهمال ، أغذية قابلة

للثلف جزئياً : semi-perishable foods وهى إذا ما تداولت وخزنت بعناية فإنها تبقى سليمة لمدة طويلة مثل البطاطا والبطاطس ، أغذية قابلة للثلف : perishable foods وهى تشمل معظم الأغذية مثل الخضروات والفواكه واللحوم والألبان والبيض والأسماك وهذه الأغذية ما لم تحفظ بطرق حفظ مناسبة فإنها تفسد بسرعة .

العوامل المؤثرة على نوع الفساد

توجد البكتيريا والخمائر والفطريات فى جميع الأغذية الخام وهذه الكائنات هى المسئول الأول عن تلفها وفسادها ، فإذا ما توفرت الظروف المناسبة لنشاطها جميعاً ففى هذه الحالة يرجع الفساد إلى امرعها فى النمو وهو البكتيريا ، فإذا ما تنافست الخميرة والفطريات فإن الخميرة غالباً هى التى تتغلب وإذا ما كانت نسبة الرطوبة منخفضة ودرجة الحموضة عالية فيقف نشاط البكتيريا ويتسبب الفساد عن الخميرة والفطر . والعوامل التى تحدد نوع الفساد عديدة والفساد عادة لا يكون بسبب عامل واحد بل أن هناك مجموعة مشتركة من العوامل تحدد أى الميكروبات لكثير احتمالاً لعامل الفساد وأهم العوامل المؤثرة على نوع الفساد ما يلى :

نوع وعدد الميكروبات :

نوع وعدد الميكروبات الموجودة فى الغذاء وهذه تتوقف على مدى التلوث الذى حدث والمعاملات التى مر بها الغذاء قبل تقديمه للمستهلك من غسل واستعمال ك ٢ ، أو أشعة أو حرارة والأغذية بوجه عام تحتوى على أنواع كثيرة وأعداد متباينة من الكائنات الحية الدقيقة إلا أن الفساد يرجع إلى نوع معين من هذه الأنواع وعادة ما يكون نوعاً واحداً أو أكثر من نوع ، أو تتابع نشاط معين للكائنات . بالتالى على حجم ونوع التلوث الموجود فى الغذاء والمعاملات السابقة له . ويضيف نمو الكائنات الموجودة أصلاً فى الغذاء أعداداً جديدة تساهم بنصيب وافر فى الفساد وتضيف هذه الأعداد عبئاً

على عملية الحفظ . والمعاملات السابقة على العموم يمكن أن تقلل من التلوث مثل الغسيل بماء نظيف أو ببعض المطهرات . ومما سبق يتضح لنا أنه كلما زاد التلوث كلما كانت هناك أعدادا كبيرة من الكائنات تستطيع أن تساهم في الفساد إذا أتاحت لها ظروف النمو والتكاثر ، وهذه الظروف ليست عامة لكل الكائنات بل أنها نوعية بمعنى أنها تحدد سيادة نوع على نوع آخر . فمثلا في الظروف المثلى لنمو غالبية الكائنات تسود البكتيريا على الخمائر وتسود الخمائر على الفطريات إلا أنه يمكن أن تسود الخمائر على البكتيريا إذا كان حجم التلوث بالخمائر أكبر من حجم التلوث بالبكتيريا . أما الفطريات فلا تسود إلا إذا كانت ظروف النمو غير مواتية للبكتيريا والخمائر .

وتتنافس البكتيريا فيما بينها وتتضاد ويسود نوع على بقية الأنواع وكذلك الحال بالنسبة للخمائر وليست هذه أيضا قاعدة عامة فأحيانا ما تعيش البكتيريا معيشة تكافلية وأحيانا لا يحدث التغير في المادة الغذائية إلا بنمو نوعين من البكتيريا معا مثل *Pseudomonas syncyanea* إذا نما وحده في اللبن فإنه يحدث لونا بنيا ولا يحدث ميكروب *Streptococcus lactis* لونيا أما إذا نما الاثنين معا فإن اللبن سيتغير لونه إلى اللون الأزرق اللامع ويعرف هذا النظام من التكافل الذي يوفر فيه كائن معين ظروف النمو لكائن آخر بالنظام الميتابيوتك Metabiotic .

ومعظم التخمرات تتم على هذا الأساس فينمو ميكروب ينتج الحموضة على سبيل المثال حتى لا يستطيع هو أن يتحمل حموضته ويترك المجال لميكروب آخر أكثر تحملا للحموضة ليكمل دوره . وكذلك إذا نمت الخمائر السطحية فإنها تستهلك كمية كبيرة من الحموضة بحيث تسمح بعد ذلك درجة الحموضة بنمو البكتيريا المحللة للبروتين .

الظروف المحيطة بالميكروب

وهي تشمل الخواص الطبيعية والكيميائية للغذاء ومدى توفر الأكسجين والحرارة والـ pH .

١ - الخواص الطبيعية للغذاء

يؤثر تواجد الماء في الغذاء ومدى إتاحتها للميكروبات على نموها ويعتبر المحتوى المائي للغذاء من أهم هذه الخواص حيث على أساسها تتوقف نسبة ونوع وسرعة الفساد الميكروبي. ويعتبر توفر الماء الحر القابل للاستفادة بالغذاء عامل مهم في نشاط الميكروبات ، كما أنه توجد علاقة بين الرطوبة النسبية بالجو المحيط بالغذاء والنشاط المائي الخاص بالغذاء نفسه ، فإذا ما زادت الرطوبة النسبية في الجو المحيط عن الغذاء فإن الغذاء يكتسب رطوبة ، ويبدأ في الفساد الميكروبي من السطح وينتشر. وإذا نقصت الرطوبة النسبية في الجو المحيط عن قيمة الغذاء فإن سطح الغذاء يجف مما يجعل ذلك عامل حفظ هام .

ولقد وجد أن الفطريات تتحمل رطوبة منخفضة ومحاليل مركزة عن الخمائر ، والخميرة تكون أكثر تحملا لهذه الظروف من البكتيريا ، ولذلك فإن الفطريات تنمو في الأغذية الجافة نسبيا وتفسدها مثل العيش والدقيق الرطب ن.ع.ا . كما تنمو الفطريات على الأغذية المحتوية على نسبة عالية من السكر كالشربات واللبن المحلى المكثف وتفسدها مثل عصير الفاكهة ، إلا أن الخمائر المحبة للضغط الاسمي المرتفع تستطيع أن تنمو في عسل النحل ، إذ أن الفطريات لا تنمو في العسل وذلك لتأثيره المثبط عليها .

والبكتيريا المحبة للملوحة تفضل النمو في محاليل الملح المركزة وهي تسبب أضرارا كثيرة في مصانع الجبن والمخللات والأسماك المملحة ، أما الأغذية الرطبة كاللبن واللحم فإنها تفسد عادة بالبكتيريا ، والأغذية المجمدة في وجود الهواء - فإنها تتلف بالفطر ، وفي غياب الهواء فإنها تتلف بالبكتيريا .

٢- الخواص الكيماوية للغذاء

تحتاج الكائنات الحية إلى مصدر غذائي لما تبذله من مجهود وهذا غالباً ما يكون الكربوهيدرات ، وتحتاج إلى مصدر نيتروجيني للنمو والتكاثر وأفضل مصادره البروتينات . وكل كائن حي له القدرة على تحليل مواد معينة للحصول على مصادر الطاقة والنمو اللازمة له ، لذلك فإن التركيب الكيماوي للغذاء بما يحتويه من مواد غذائية تكون البيئة المزرعية التي تحدد أنواع الميكروبات التي ستنمو وبالتالي نوع الفساد الناتج .

أولاً : فساد الغذاء الخام Spoilage of Raw Food

يتوقف نوع الفساد كما ذكرنا سابقاً على نوع وأعداد الميكروبات الموجودة بالغذاء وعلى الظروف المحيطة به ، والأغذية الخام تحتوى على أنواع عديدة من الميكروبات والتي توجد تحت ظروف بيئية مختلفة . ومن المعتاد عند نمو هذه الميكروبات أن نوعاً واحداً من هذه الأحياء يسود فى نموه على باقى الكائنات ويسبب الفساد . وفى هذه الحالة فإنه يثبط غيره من الميكروبات أو يفتح الطريق لغيره وهنا يحدث الفساد نتيجة لفعل ميكروبات متعاقبة فى النشاط .

١- الخضروات و الفواكه Vegetables and Fruits

أ- الخضروات Vegetables

يمكن أن ينشأ فساد هذه المجموعة من الأغذية بفعل عوامل طبيعية أو إنزيمات النبات الداخلية أو بتأثير الميكروبات أو كل هذه العوامل مجتمعة. فعلى سبيل المثال يؤدي جرح الخضروات أو قطعها أو ضغطها أثناء التعبئة لزيادة نشاط الإنزيمات ، وكذلك دخول الميكروبات إلى الأنسجة الداخلية وكذلك إصابة النبات بمرض فطري أو تحطيم الأنسجة بواسطة الحشرات ، ويجعل الغذاء غير صالح للاستهلاك ويفتح الطريق أمام نمو كائنات أخرى متطفلة ويؤدي تلامس الخضروات المصابة والسليمة إلى

انتقال العدوى وزيادة التلف . ويؤدي عدم توافر الظروف الملائمة عند الحصاد أو عند النقل والتسويق إلى زيادة التلف ، ويؤدي النضج الزائد إلى رخاوة الأنسجة وتعرضها للتحاتيم بسرعة عند النقل وفسادها بسرعة خاصة بالجراثيم البكتيرية المسببة للعفن Rot . ويبدأ العفن في الخضروات بعد الحصاد ثم تزداد فرصة التلوث أثناء التداول إن كانت المسافات بين موقع الإنتاج والتسويق بعيدة ثم بعد ذلك أثناء التخزين .

بالنسبة للخضروات الورقية مثل السبانخ والخس فكثيراً ما تفسد بواسطة إنزيماتها حتى بعد توقف النمو الميكروبي فهي تزل ويتغير لونها وإذا ما غسلت أو رطبت هذه الخضار وخزنت مكسدة فوق بعضها بالغرفة ، فإن البكتريا النامية على سطوح أوراقها تنشط وتزداد في العدد وتحدث بها لزوجة وروائح غير مقبولة وتغير في مظهرها . وهذا لا يؤثر على صلاحيتهم للأكل ولكن يجعل منظرها غير جذاب ، ويمكن تجنب هذا بالتخزين على درجة حرارة منخفضة. إذا خزنت الخضار الورقية وهي رطبة على درجة حرارة منخفضة غير كافية لمنع الفساد ، يحدث بها لزوجة ، وإذا حفظت على درجة حرارة عالية ، فتتحلل المواد الكربوهيدراتية إلى أحماض وتصبح الخضروات حامضية والفساد الأخير يحدث كثيراً في الخضار التي تحتوى على نسبة عالية من الكربوهيدرات كالبنسلة والفاصوليا.

على عكس الخضروات الورقية القابلة للفساد ، فإن معظم الخضروات الجذرية والدرنية كالبطاطا والبطاطس والبنجر والجزر تعتبر متوسطة القابلية للفساد وهي لا تفسد إلا إذا حدث لها جرح نتيجة الإصابة بديدان الأرض أو نتيجة العمليات الزراعية أو عطب خارجي فتبدأ الإصابة والفساد وتنتشر بداخلها . ونظراً للجفاف النسبي وظروف الهوائية فإن السبب الرئيسى للفساد يكون نتيجة نمو الفطريات المسببة للعفن Rot. معظم

أنواع الفساد الشائعة تختلف باختلاف النوع والسلالة والفساد الميكروبي يرجع إما إلى الميكروبات الممرضة التي تصيب الجذور والسوق والأوراق والأزهار والثمار ، أو إلى الكائنات المتطفلة التي تغزو النبات بعد الإصابة بالميكروبات الممرضة لو تهاجم للنبات السليم ويحتوى عصير الخضروات على نسبة قليلة من الحموضة والسكريات حيث يتراوح الـ PH بين ٥,٠ - ٥,٨ وهو يعتبر وسط جيد لنمو بكتريا التخمر الحامضى خاصة بكتريا حمض الكتيك وهناك أنماط لفساد نوجزها فيما يلى :

العفن البكتيرى الطرى : وتسببه ميكروبات لروينيا كاروتوفورا *Erwinia carotovora* وكذلك الأنواع التى تخمر الخضروات ويسبب نموها فقد القوام الصلب وتتخذ الخضروات والأغذية قواماً ليناً مائياً ذو رائحة كريهة .

العفن الرمادى : ويسببه فطر *Potrytis cinerea* ويفضل هذا الفطر الأوساط الرطبة الدافئة .

عفن الريزوبس الطرى : ويسببه فطر الريزوبس نجريكاز *Rhizopus nigricans* وهو عفن طرى متشعب وللفطر نمو قطنى أبيض به نقط سوداء هى الأسبورانجيات *Sporangia* .

عفن الألترناريا : ويسببه فطر الألترناريا *Alternaria sp* ، وتبدأ الإصابة بمناطق بنية مخضرة تتحول فيما بعد إلى بقع سوداء أو بنية .

العفن الأزرق : ويسببه فطر البنيسليم واللون الأزرق المخضر هو عبارة عن جراثيم الفطر الكثيفة .

البياض الزغبي : وتسببه فطريات البريميا والبيرونوسبورا وينمو مكوناً زغباً أبيضاً التعفن المائى : وهو موجود أساساً فى الخضروات ويسببه فطر سكليروتينا

Sclerotina sp.

العفن الأسود : ويسببه فطر أسبرجلس *Aspergillus sp* ويكون اللون الأسود عبارة عن تجمعات سوداء من الجراثيم .

ب- الفواكه Fruits

أغلب ثمار الفواكه لها غلاف سميك يحميها ، ولذلك فإن انسجتها الداخلية غالبا ما تكون خالية من الميكروبات . والفواكه كالخضروات قد تصاب بفطريات العفن والبياض قبل الحصاد أو بعده ، وتسبب تعفنها Rot فإذا ما حدث جرح أو قطع بالقشرة الخارجية فإن فطريات العفن تبدأ في النمو في هذا الموضع وتسبب الفساد وتنتشر من الخارج إلى الداخل وبذلك تعطب الفاكهة ونظرا لأن معظم تأثيرها حامضي فإنها تفسد بالفطريات وقد يحدث أيضا تخمر كحولي بالخميرة داخل الفاكهة .

ونجد أن عصير الفاكهة نو محتوي سكري وحموضة متوسطة ورطوبة عالية فيفسد بالخميرة أكثر من الفطر فإذا ما ترك العصير بدون حفظ فإنه يتعرض للتلف بواسطة الخميرة مسببة له تخمر كحولي وقد يستمر الفساد بعد ذلك فتتأكسد الكحولات والأحماض بواسطة الخميرة الغشائية والفطريات. وقد يحدث تخمر خليكى في الظروف الهوائية بواسطة بكتريا حمض الخليك لن وجدت ، أما تحت الظروف اللاهوائية فقد تسبب البكتريا حموضة وعكارة ومرارة بالعصير وكلها ظواهر غير مرغوبة . كذلك يحتوى العصير المستخرج من الفواكه أو المستخلص منها على نسب حموضة مختلفة تتراوح ما بين PH ٢,٤ فى الليمون ، ٤,٢ فى عصير الطماطم وتحتوى كل العصائر على السكر بنسب متفاوتة فتتراوح ما بين ٢% فى الليمون إلى ١٧% فى بعض أنواع العنب . وبالرغم من أن الفطريات تنمو على سطح هذه العصائر إذا تعرضت للهواء ، إلا أن نسبة الماء العالية تهئ للخمائر والبكتريا الأسرع نموا من الفطريات ظروف نمو أفضل .

وتعتمد السيادة لأى من هذه الكائنات فى العصائر المنخفضة فى السكريات والحموضة على درجة الحرارة . وإزالة الأجزاء العالقة فى العصير بواسطة الاستخلاص والتصفية تزيد من جهد الأكسدة والاختزال للعصير وتشجع نمو الخمائر . أما معظم أنواع العصير فتحتوى على نسبة سكر كافية ونسبة حموضة عالية تشجع نمو الخمائر فى درجات الحرارة المناسبة وهى من ١٥,٦ - ٣٥ م ، أى أن نوع الفساد الذى يمكن أن يحدث فى العصير على درجة حرارة الغرفة هو تخمر كحولى بواسطة الخمائر متبوعا بالأكسدة إلى أحماض بواسطة الخمائر السطحية والفطريات.

أما فى درجات حرارة ٣٢,٢ - ٣٥ م فإن بكتريا حمض اللاكتيك تنمو وتكون حمض لاكتيك . أما عند درجات حرارة أقل من ١٥,٦ م فإن الخمائر الغريبة تنمو وكلما اقتربت درجة الحرارة من الصفر كلما سادت البكتريا والفطريات على الخمائر . ويشترك فى التخمر اللاكتيكى ميكروبات ليوبكونستوك ولاكتوياسيلى ، وهى غير متجانسة من حيث نواتج التخمر وتتبع ميكروبات ليوبكونوستك بالإضافة إلى حمض اللاكتيك مخاطا كثيفا . وفى بعض الفواكه كالموز فإن الفساد يرجع للأنزيمات الداخلة للنبات نفسه أو نتيجة زيادة النضج وليس نتيجة الميكروبات .

٢- الحبوب ومنتجاتها Cereal and its products

تحتوى القشرة الخارجية للحبوب عند حصادها على بعض الميكروفلورا الطبيعية التى تلازمها أثناء النمو بالإضافة إلى التلوث الذى ينشأ بواسطة ميكروفلورا التربة ويحتوى الحصاد الجديد على كميات من الميكروفلورا تتراوح بين الآلاف والملايين فى كل جرام . ويبلغ تعداد الفطريات ما بين صفر ومئات الآلاف. وغالبية البكتريا الملونة تكون من عائلات *Pseudomonadaceae*,

Lactobacillaceae, *Micrococcaceae*, *Bacillaceae*

وإذا خزنت الحبوب في وسط رطب تنمو الفطريات مكونة جراثيماً كثيرة ويزال كثير من هذه الميكروبات أثناء طحن الحبوب عند التخلص من القشرة الخارجية. ويحتوى الدقيق على جراثيم بكتريا باسيلس وبكتريا القولون وكذلك بعض أنواع الأجناس أكروموباكتر وفلاقبواكتريم ، والسرسينا، والميكروكوكس ، والألكاليجيتس والسرانيا . وأغلب جراثيم الفطريات من الجنس أسبرجلس والجنس بنسيليم ، وأحيانا بعض جراثيم الالترناريا والكلادوسبوريم *Alternaria, Cladosporium, Penicillium* . ويختلف مقدار الميكروبات في الدقيق حسب درجة طحنه ونسبة القشرة فيه . ويعتبر سطح الخبز الطازج خاليا من الكائنات الحية الدقيقة ، إلا أن التلوث يعود عندما يبرد أو يتعرض للقطع بواسطة سكاكين التقطيع الغير نظيفة أو أن يترك مكشوف للهواء . وقد وجد أن نسبة الرطوبة أقل من ١٣% تمنع نمو كل الكائنات الدقيقة ، ولكن نسبة ١٥% رطوبة تسمح بنمو طيب للفطريات ، أما نسبة ١٧% فهي تسمح للفطريات والبكتريا بالنمو .

ويبدأ تلف الدقيق بزيادة الرطوبة بحدوث تخمر حامضى يتبعه تخمر كحولى ثم تخمر خليكى بواسطة بكتريا الأسيتوباكتر . وهذه التغيرات تحدث أكثر في الدقيق المطحون حديثا أكثر من المطحون والمخزن لفترة طويلة إذا كانت نسبة الميكروبات فيه ضئيلة . وفى غياب بكتريا حمض اللاكتيك والقولون يمكن لبكتريا ميكروكوكس إحداث الحموضة في الدقيق . أما فى غياب الأخيرة فيمكن لميكروب الباسيلس أن يقوم بهذا الدور وخصوصا تلك التى تعيش هوائية وتنتج حمض اللاكتيك والكحول والأسيتون وكميات ضئيلة من الإسترات وبعض المركبات الأروماتية .

أما بالنسبة لفساد الخبز فيكون غالبا بالفطريات وذلك لقلة الرطوبة حيث تظهر عليه مناطق ذات ألوان مختلفة نتيجة نمو تلك الفطريات . ويمكن أن

يحدث ذلك أثناء التخمير إذا ترك لفترة أكثر من اللازم بحيث تنتج كمية أكبر من الأحماض ويعتبر ذلك فساداً لطعم الخبز . وإذا كان نشاط البكتريا المحالة للبروتين كبيراً في هذه الفترة فإن ذلك سيؤدي إلى إتلاف قوام العجين المحتوى على الفراغات الغازية ويتكون ما يعرف بالعجين الثقيل . وهو ناتج عن هدم الجلوتين . وأهم فساد في الخبز بعد ذلك هو العفن الفطري والقوام المطاط .

والعفن الفطري يصيب الخبز بعد الخبز لأن حرارة الخبز كافية لقتل جراثيم الفطريات وغزلها الخضري . وأهم الفطريات هي فطر *Rhizopus nigricans* وهو غزل أبيض به نقط سوداء هي الأكياس الجرثومية وكذلك فطر *Penicillium expansum* نو الجراثيم الخضراء . وفطر *Aspergillus niger* نو الرؤوس الكونيدية التي تختلف ألوانها من اللون البني المخضر أو اللون الأسود مع ظهور بقع صفراء تنفذ إلى داخل الرغيف . أما فطر *Monilia sitophila* فيظهر نموه بلون أحمر ويمكن أن تنمو أنواع من الميوكور والجيوتريكم *Mucor & Geotrichum* وينتج الفساد بعد تعرض الخبز بعد الخبز لتلوث شديد إما من ماكينات التقطيع أو من الهواء أو التخزين في مكان دافئ رطب وكذلك التغليف قبل أن يبرد الخبز . وتستخدم عدة طرق لمنع الفطريات وتتلخص في منع التلوث بمراعاة النظافة التامة وإبعاد بقايا الخبز المصابة بالفطريات والتخلص منها وتنقية الهواء في المخازن للتخلص من جراثيم الفطريات أو استخدام الأشعة فوق البنفسجية لقتل جراثيم الفطريات في الهواء وكذلك التبريد المفاجئ للخبز بعد الخبز وقبل التغليف .

والقوام المطاط في الخبز فيسببه ميكروب *Bacillus subtilis* أو *B. licheniformis* وجراثيم هذين الميكروبين يقاومان حرارة الخبز التي لا تزيد عن ١٠٠م ثم تنمو هذه الجراثيم إذا سمحت الظروف بعد ذلك بالنمو . والقوام المطاط ينشأ عن تكوين كبسولات للميكروبات مع حدوث تحلل مائي

لبروتين الدقيق بواسطة إنزيم البروتيز الذي تفرزه الميكروبات والذي يحلل بروتين الدقيق (الجليوتين) والمنطقة التي يتكون فيها القوام المطاط صفراء بنية اللون طرية ثقيلة مطاطة . ويحدث هذا الفساد إذا تعرض العجين لتلوث شديد بجراثيم مسببات السابق ذكرها وإذا تعرض العجين للتلوث من الأواني أو أدوات التقطيع وإذا لم تكن هناك حموضة في الحبيز وإذا تم تخزين الخبز في وسط رطب مرتفع الحرارة . ولتجنب ذلك الفساد يجب العناية بالنظافة والتخزين في مكان بارد نسبياً أو بإضافة مواد حافظة بنسبة ١-٥ جزء في الألف من بربونات الصوديوم أو الكالسيوم للعجين لمنع نمو البكتيريا والفطريات.

والخبز الأحمر الدموي وهو نوع من الفساد تسببه ميكروبات *Serratia marcescens* وهذا الميكروب يكون نموات حمراء دموية على الأغذية النشوية وهو فساد نادر الحدوث . أما الخبز الجيري وتسببه أنواع من الفطريات الشبيهة بالخمائر وتكون بقعاً بيضاء جيرية على سطح الخبز ، وهو أيضاً نادر الحدوث وبالنسبة للفطائر ومنتجات المخابز الأخرى يعتبر نمو الفطريات المسبب الأساسي في التلف ويمكن منع نموها بالتشعيع السطحي بالأشعة فوق البنفسجية أو باستخدام البروبيونات والتغليف يؤدي أيضاً إلى تقليل الإصابة بالفطريات ، إلا أن تكون مواد التغليف قد تعرضت للتلوث ويجب تغطية هذه المنتجات بورق سيلوفان لتجنب جراثيم الفطريات المحمولة في الهواء .

يتم في المكرونة الرطبة انتفاخ يسببه ميكروب *Aerobacter cloacae* وقد وجد أن فطر *Monilia* يتسبب في تكوين مناطق بنفسجية على المكرونة إذا جففت على أسطح من الورق بين المكرونة ومكان الالتصاق على الورق وهذا التلوث نادر الحدوث .

٣- السكر والعسل Sugar and honey

إنما لم يتم تصنيع عصير القصب في الحال إلى سكر فإنه يتعرض لقلوب شديد وأهم الميكروبات التي تلوثه هي باسيلس وكذلك ليوكونوستوك وكذلك ميكروكوكس & فلافوبالكتريم & أكروموبالكتريم & إيروبالكتريم *Aerobacter, Achromobacter, Flavobacterium, Micrococcus, Leuconostoc, Bacillus* وكذلك من الخمائر *Saccharomyces, Candida, Pichia*.

وقد قدرت أعداد الميكروبات في العصير بين ٣٦,٠٠٠ ، ٥٠٠,٠٠٠,٠٠٠ / مليلتر في فترات مختلفة ونمو الكائنات في العصير يؤدي إلى تحول السكر أو هدمه ويستمر نشاط الكائنات من فترة قطع قصب السكر إلى عملية الاستخلاص والتقية . ويتم عند هذه المرحلة قتل الخمائر والخلايا الخضرية للميكروبات أما الجراثيم فتظل باقية في مرحلة الترسيب والترشيح والتبخير والطررد المركزي ، إلا أنها تنقص في أعدادها. ويوجد في السكر الخام حوالي ٤٠٠ إلى ١٩٠,٠٠٠ جرثومة في الجرام والسكر يحتوى عادة على نسبة رطوبة ضئيلة جداً لا تسمح بنمو الكائنات ولذا يجب تخزينه في أماكن جافة منخفضة الحرارة كما هو الحال في الحبوب . وكما ذكرنا يقل عدد الكائنات بالمعاملات التي تجرى على العصير للحصول على السكر . أما المشروبات الخفيفة فيجب أن تعامل معاملة خاصة لوقايتها من تكاثر الميكروبات مثل التسخين بالأشعة فوق البنفسجية واستخدام الحرارة وفوق أكسيد الهيدروجين معاً .

وقد تتكون حالة لزوجة وتكوين مواد صمغية لعصير القصب الخام أو عصير البنجر المعد للتصنيع نتيجة نمو ميكروبات *B.subtilis, Leuconostoc mesenteroids, L. dextranicum* حيث يتحلل السكر

الموجود بالعصير كمصدر للطاقة ثم تكون الميكروبات كبسول من عديدات السكر التي تسبب اللزوجة .

ويمر الشراب والمولاس بفترة تسخين كافية وتركيز بكفى لقتل الميكروبات ولكن يجب أن يتم حفظهما في أماكن مبردة لوقف التفاعلات الكيميائية ونمو الميكروبات وبعض أنواع المولاس يحتوى على كمية كافية من ثانى أكسيد الكبريت كافية لتنشيط نمو الميكروبات . ولا تحتاج هذه الأغذية نظراً لارتفاع تركيزها إلى إضافات حافظة كذلك تصد الحلويات والشيكلات المحشوة بمادة سكرية بواسطة الخمائر والفطريات والبكتريا التي تتحمل التركيز العالى من السكر وتحدث فرقة الشيكولاته نتيجة تكون الغازات من نمو الميكروبات .

يختلف العسل في التركيب ولكنه لا يجب أن يحتوى على أكثر من ٢٥% رطوبة ، ونظراً لارتفاع تركيز السكر فيه حوالى ٧٠ - ٨٠% معظمهم في صورة جلوكوز وليفولوز . وتبلغ حموضته من ٣,٢ - ٤,٢ ويفسد أساساً بواسطة الخمائر الأزموفيلية Osmophilic yeast من نوع زيجو سخاروميس ميليس وكذلك التوربولا Zygosaccharomyces, Torula وقد وجدت بعض أنواع البنسلیم في العسل .

٤- اللحوم و الأسماك Meats and Fishes

أ- اللحوم Meats

يحتوى اللحم على معظم العناصر الغذائية الضرورية لنمو الميكروبات وعلى ذلك فإن فسادة يكون سهلاً . وهو يحتوى على نسبة عالية من الرطوبة وتأثير متعادل لذلك فإن فسادة غالباً ما يكون بكتيريا ، فعلى سطح اللحوم يوجد أعداداً كبيرة من البكتريا في درجة الحرارة العادية أغلبها من النوع المحلل للبروتين ، ودرجة الحرارة وتوفر الأكسجين لهما تأثيراً كبيراً في تعيين نوع الفساد الحادث في اللحوم .

فعند درجة الحرارة العادية وتحت الظروف اللاهوائية يتعرض اللحم للتلف ويكون ذلك مصحوباً بروائح كريهة ويحدث ذلك بنشاط داخل اللحم حيث الظروف لاهوائية أما تحت الشروط الهوائية فإن تحلل البروتين يصحبه حموضة خفيفة ، وبذلك فإن الطبقات السطحية تتعرض للحموضة أو إلى لزوجة خفيفة كذلك اللحم المحفوظ على درجة حرارة الثلاجة العادية يتعرض للفساد أيضاً ، فإذا كان السطح رطب تنشط البكتريا المكونة للزوجة وقد يصحب ذلك حموضة ، إما إذا كان السطح جاف فإن الفطريات التعفنبة تنمو عليه وبكثرة . وعند نقل اللحم من الثلاجة إلى درجة حرارة الغرفة يتكثف الماء على سطحه وهذا يشجع نمو البكتريا المسببة للزوجة . وتحت الظروف البوائية يحدث تغير في لون اللحم فيتحول اللون الأحمر إلى اللون الفاتح أو البنى بواسطة الأكسدة كيمائياً أو بكترياً بواسطة جنس *Lactobacillus* وبالإضافة إلى التغيرات البكتريولوجية فإن اللحوم المخزونة تتعرض لتغيرات بفعل أنزيماتها الداخلية ، مثل حالة التسوية Tenderizing التى تحدث فى اللحم المخزون بالثلاجة ، كما أن الدهون التى فى اللحوم تتعرض أيضاً للأكسدة كيمائياً وعند نزع أحشاء الدجاج فإن البكتريا الموجودة بها تنتشر بتجفيفها مسببة سرعة فسادها إذا تركت فى جو الغرفة. ومن أنواع الفساد فى اللحوم الشائعة ما يلى :

أ- تكون بقع ملوثة على سطح اللحم نتيجة نمو الفطريات من :

البقعة السوداء Black spot التى يسببها فطر *Cladosporium herbarum* والبقع البيضاء White spot التى يسببها فطر *Sporotrichum carnis* والبقع الخضراء Green patches نتيجة نمو فطر *penicillium sp.* هذه البقع لا تؤثر على الصحة ولكنها تسبب منظراً غير مقبولاً ، ولتفادى ذلك تتبع الأصول الصحية فى الذبح والتداول والحفظ على درجة - ١٠° م .

ب- الفساد البوتشولينى : Botulism

ويسببه ميكروب *Cl. botulinum* واللحم الملوث يكون لزجاً مصحوباً بروائح كريهة وهذا الفساد يسبب أخطر أنواع التسمم للإنسان .

ج- اللحم اللاذع Sour Beef

ويرجع غالباً إلى نمو ميكروب *B. megatherium* الذى ينمو على اللحم الطازج المخزن فى الأماكن غير المتهواة الدافئة نوعاً . ويتكون الطعم اللاذع نتيجة تكون أحماض عضوية ناتجة من تحلل البروتينات بدون تعفن مثل حمض الفورميك ، الخليك ، البروبيونيك ، البيوتريك وغيرها .

د- الحلقات الخضراء فى السجق Green rings in sausage

وتحدث نتيجة نمو بكتريا مثل *Lactobacillus virilencens* *sp* حيث تؤكد هذه البكتريا بعض مكونات اللحم منتجة يد ٢ الذى يؤثر على لون السجق المعروف ويحوله إلى لون أخضر ، ولعلاج هذه الحالة يراعى شروط النظافة فى التصنيع والتخزين .

ب- الأسماك Fishes

الأسماك مثل اللحوم معرضة للفساد الكيماوى والإنزيمى والبيولوجى أو بها مجتمعه وينطبق عليها إلى حد كبير الأسس التى تحدد الفساد فى اللحوم . غير أن الأسماك أسرع فى الفساد من اللحوم لسرعة تحللها الذاتى بواسطة إنزيماتها ، ولأن حموضتها أقل من اللحوم وبذلك فهى أكثر عرضاً للبكتريا، كما أن زيوتها المعرضة للأكسدة أكثر من دهون اللحم ومن أمثلة الأسماك الدهنية فى مصر سمك القراميط والثعابين . والمصدر الرئيسى للبكتريا هو الخياشيم Gills والأحشاء الداخلية Intestine والمادة الزجة الموجودة على السطح الخارجى للسمك ، وأهم الأنواع المسببة للتلف والفساد هى *Pseudomonas, Achromobacter, Flavobacter* وهى أنواع شائعة وجودها فى الماء وتصل الميكروبات إلى لحم السمك بالخياشيم عن طريق

الدم هذا علاوة على بعض الميكروبات الممرضة التي من أصل حيواني مثل *E.coli, proteus spp*

وبالنسبة لفساد السمك يلاحظ أن السمك الكامل غير المنزوع الأحشاء الداخلية يحدث له تعفن على درجة الحرارة العادية نتيجة فعل الميكروبات المحللة للبروتين . السمك المنزوعة أحشائه أو المحفوظ في الثلجة العادية يحدث له تحلل ذاتي autolysis مع حموضة أو تحلل للبروتين بفعل البكتريا بدون ظهور روائح كريهة أحيانا تكون رائحة السمك الترابية قد تعود إلى نمو أنواع *Streptomyces sp* في طين المياه محدثة رائحة وامتصاص السمك لهذه الرائحة . وقد يحدث للسمك تلون نتيجة نمو الميكروبات المفردة للصبغات مثل *Ps. fluorescens, Micrococcus sp., Sarcina sp. and Serratia spp* كذلك وجد أن السردين الراعي Feedy sardine يفسد بسرعة عقب صيده عن السردين الصائم ، والعلاج يكون بنزع الأحشاء الداخلية للسمك عقب صيده أو تركه حيا لمدة حتى يهضم ما بأمعائه من غذاء . وقد تفسد الأسماك المملحة بالبكتريا المحبة للملوحة ومنها :

Sarcina rosaceae, Erraitis salinaria, Micrococcus roseus

وهي تسبب أيضا تلون السمك باللون الأحمر بينما يفسد السمك المدخن أساسا بالفطريات . ومن العلامات المميزة لفساد السمك الطازج هي ظهور السطح الخارجى للسمك أقل نضارة وتصبح الأنسجة طرية وعند الضغط عليها بالأصبع لا تعود إلى ما كانت عليه ، ويصبح لون الخياشيم غير وردي كما أن العين تكون غير براقية ومعتمة وقد تتغير رائحة السمك ثم تبدأ ظهور روائح عفنة مميزة نتيجة تكون Trimethylamine وتظهر الروائح الكريهة نتيجة لتكون غاز يد ، كب ، الأندول ، ن يد ، وغيرها من المواد الأخرى الكريهة الرائحة Malodorous . هذا علاوة على ظهور رائحة ترنخة Rancid odor.

٥- البيض Spoilage of eggs

يعتبر البيض الطازج سليم القشرة سليم من الناحية الصحية وتخلو محتوياته الداخلية من الميكروبات ويبقى ذلك طالما بقيت القشرة جافة سليمة ويحدث التلوث للبيض عن طريق القشرة المسامية فعند ارتفاع رطوبة الجوفان ذلك يشجع دخول فطريات التعفن بواسطة هيفاتها الرقيقة إلى داخل البيضة عن طريق مسام القشرة ، وتكاثف ذرات الماء على السطح يسمح بغزو البكتيريا ونموها وإحداث التغيرات . وتركيب البيض عالي في البروتين منخفض في الكربوهيدرات ، متعادل التأثير ، لذلك فإن أغلب تلف البيض يكون لتحلل البروتين وقد يكون التحلل تعفنياً مصحوباً بروائح كريهة أو تحلل بدون روائح وهذا يتوقف على نوع الميكروب المسبب ، وعموماً فإن البيض يتعرض للفساد بالفطر والبكتيريا ، وفي أثناء التخزين فإن البيض يحفظ على درجة حرارة أعلى قليلاً من التجمد ($1-2^{\circ}\text{C}$) وفي رطوبة نسبية من ٨٠-٨٥ % وهذه الظروف تعطي للفطر فرصة أكبر للنمو من البكتيريا . ولقد لوحظ أن بقاء البيض لمدة طويلة في الثلاجة فإن تأثيره يتحول إلى الناحية القلوية ويحدث به تغير في صفاته الطبيعية لأسباب غير ميكروبية فمثلاً يصبح البياض مائياً وأقل سمكاً ويعالج ذلك بسد ثقب القشرة بالغمس في زيت معدني ساخن على درجة 40°C لمدة ثواني وإطالة مدة حفظ البيض يخزن بالتبريد في جو به ك 10^{-4} . ومن أنواع فساد البيض الناتجة عن العفن الميكروبي Microbial rotting حيث يوجد به عفن بدون لون Colourless rot نتيجة نمو *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *coliform* bacteria بينما يكون العفن الأخضر Green rot نتيجة نمو *Ps. fluorescens* وهي بكتيريا تفرز صبغة خضراء بسبب إضرار البياض . وهناك أيضاً العفن الأسود Black rot المسبب عن *Proteus sp* وفي هذا

الفساد يسود صفار البيض Yolk وتتكون روائح تعفنية كريهة لانفراد بد،
كب . علاوة على التعفن البكتيري السابق فإن هناك تعفن فطري Fungal
rotting بسببه فطريات *Penicillium, Cladosporium, Sporotrichum*

ثانيا : فساد الغذاء المعامل بالحرارة Spoilage of heat treated Food

تتلووح معاملة الأغذية بالحرارة من البسترة إلى استخدام البخار
تحت ضغط ، وهذه المعاملات الحرارية تؤدي إلى قتل بعض ما بالأغذية من
ميكروبات ، وكلما زادت درجة الحرارة كلما زاد قتل الميكروبات ، ويتبقى
بعد المعاملة الحرارية الأنواع المقاومة للحرارة العالية والجراثيم . ويلاحظ
أن الجراثيم البكتيرية أكثر مقاومة للحرارة عن جراثيم الفطر والخميرة ،
ولذلك فإن الأغذية المعاملة على درجات حرارة متوسطة يقتل بها معظم
الخمائر والفطريات والخلايا الخضرية والبكتيرية ، بينما المعاملة على درجة
حرارة أعلى مثلا ١٠٠م لمدة ٥ دقائق تقتل بها كل الخلايا الخضرية للبكتريا
وكل جراثيم الخميرة والفطر وكذلك جراثيم البكتريا القليلة المقاومة للحرارة
وعلى ذلك فإن نوع الفساد في الأغذية المعاملة بالحرارة يتحكم فيه نوع
الميكروبات المتبقية بعد المعاملة بالحرارة . وهذا يحدد بدرجة الحرارة
والمدة المستعملة ، كما يتحكم في نوع الفساد قدرة الميكروبات المتبقية على
النمو تحت ظروف الغذاء الطبيعية والكيميائية وظروف التخزين أيضا .

١- فساد الغذاء المبستر

يتبقى بعد بسترة الألبان عدد كافى من البكتريا المنتجة للحموضة
ومنها بكتريا حمض اللاكتيك وهى تسبب حموضة اللبن إذا لم يحفظ بعد
البسترة مباشرة على درجة حرارة منخفضة وتفسد الأغذية المبسترة أيضا
نتيجة لخلل في عملية البسترة أو للتلوث بعد البسترة وبذلك يكون الفساد
مشابها لفساد الأغذية الطازجة غير المعاملة بالحرارة .

فى هذه الأغذية يقتل الميكروبات الممرضة والمفسدة على درجة حرارة تتراوح ما بين الغليان إلى البخار تحت ضغط ، وتتوقف المعاملة الحرارية على نوع الغذاء فالأغذية الحامضية تعامل بدرجة حرارة قرب الغليان بينما تعامل الأغذية غير الحامضية بالبخار تحت ضغط ، وعلى ذلك فإن الأنواع المسببة للفساد تختلف فى كل وعموما فإن الأغذية المعلبة يجب أن تكون معاملة حرارية كافية ، وأن يحافظ على العلبه من التفيس Leakage وتخزن تحت الشروط المناسبة. وتفسد الأغذية بسبب كيمائى أو بيولوجى - ومن أهم أنواع الفساد الكيمائى ، وهو لا يخل فيه للميكروبات ، الانتفاخ الأيدروجينى Hydrogen swelling وفى هذا الفساد تريد نسبة الأيدروجين عن نصف حجم الغازات المختلفة الموجودة بالعلبة على الأقل ويحدث الانتفاخ الأيدروجينى ، من تفاعل الحامض الموجود بالغذاء الحامضى مع معدن العلبة ، مثل منتجات الطماطم والصلصلة والمخلل المعبأ ، ويتصاعد غاز يد ، الذى يضغط على طرف للعلبة محدثا الانتفاخ ، ويزداد الانتفاخ بالتخزين على درجة حرارة عالية ويأخذ خطوات الانتفاخ التى تحدث فى الفساد البيولوجى .

تنتج أيضا عيوب أخرى غير بيولوجية ، نتيجة تفاعل معدن العلبة مع محتواها الغذائى مثل صدا العلبة ، تلون معدن العلبة الداخلى ، تلون الغذاء ، تكون روائح غير مقبولة ، تعكير فى الشربات أو السائل المحفوظ ، ونقص فى قيمة المادة الغذائية وهذه التغيرات غير مقبولة من حيث الشكل بالنسبة للمستهلك . وينتج الفساد البيولوجى من الميكروبات المتبقية بالعلبة بعد المعاملة الحرارية وقد يحدث نتيجة عدم كفاءة المعاملة أو نتيجة عدم إحكام قفل العلبة أو لحدوث تفيس Leakage بها. فتدخل الميكروبات إلى الداخل وبذلك تصبح عملية التعقيم عديمة الفائدة ويتعرض الغذاء لكل أنواع

الفساد بالميكروبات الخضرية والمتجرثمة . وهناك ملاحظة يجب اتباعها وهي أنه عند وجود علبة غذاء معلبة منتقخة فإنه يجب عدم استهلاكها بل تعدم حتى ولو كان الانتفاخ قليلا ، فمثل هذه العلبة علامة على فسادها فقد توجد بها ميكروبات ممرضة خطيرة قد تسبب تسمما خطيرا إذا تم تناولها .

٣- فساد الغذاء غير الحامضي Spoilage of acidic food

تعامل هذه الأغذية بالبخار تحت ضغط ، ولذلك فإن فسادها ينتج من البكتريا المتجرثمة الشديدة المقاومة للحرارة ، ويتميز بهذه الأغذية أربعة أنواع من الفساد ثلاثة منها نتيجة لنشاط البكتريا المحبة للحرارة المرتفعة والرابع نتيجة لنشاط البكتريا المحبة للحرارة المتوسطة ، وأنواع الفساد هي :

١- الفساد المسطح الحامضي Flat sour

يحدث هذا الفساد غالبا في الخضروات قليلة الحموضة ، ويكون نتيجة لنمو بكتريا متجرثمة محبة للحرارة العالية ، اختيارية الهواء *Bacillus stearothermophilus* والجراثيم مقاومة للحرارة ولذلك فهي تبقى بعد التعقيم التجارى وتنشط ما لم تبرد العلب بسرعة بعد التعقيم ، وإذا ما وجد بالعلبة بكتريا مسببة لهذا الفساد من النوع المحب للحرارة المرتفعة اختياريا ، فإنها تكون قادرة على النمو فى درجة حرارة التخزين العادية مسببة للفساد .

يسمى هذا الفساد بالمسطح الحامضي نظرا لأن البكتريا المفسدة تكون حموضة بدون غازات فلا يحدث انتفاخ بالعلبة ويبقى سطحها مستويا وغطاؤها مسطحا ، وبذلك يكون مظهر العلبة عاديا ، ولا يمكن الحكم عليها من مظهرها الخارجى ، وإنما بالتفوق يظهر الطعم اللاذع المميز للحموضة وتنشأ الحموضة لتكون حمض اللاكتيك وقد تكون الحموضة مصحوبة بطعم غريب .

٢- الفساد الغازي Swelling

ويسمى أيضاً H_2S Thremophilic anaerobes not producing
spoilage (T.A) ويسميه - ميكروب *Clostridium thermosaccharolyticum*
وهو ميكروب عصوي طويل متجرتم محب للحرارة العالية لاهوائي لا يكون
يد ٢ كب ينشط أثناء التخزين ويتسبب في إنتاج حموضة مع كميات كبيرة من
غاز H_2 ، يد ٢ تؤدي إلى انتفاخ العلبة ولذلك فإنه من الشكل الخارجى للعلبة
يمكن ملاحظة هذا الفساد وحيث أن الانتفاخ يكون تكريجيا فإن عملية الانتفاخ
تمر بالمراحل الآتية :

أ- انتفاخ أولى Flipper spoilage

وهو أول حالات الانتفاخ ، وفيه ينتفخ طرف واحد من العلبة ،
ويمكن إرجاعه إلى حالته الأولى بالضغط ، ثم يعود الانتفاخ إلى أصله ثانياً
بالضغط على جانب العلبة .

ب- انتفاخ لولبي Springer spoilage

وفيه ينتفخ طرف العلبة ويبقى الآخر مستوياً ، وبالضغط على
الطرف المنتفخ فإنه ينضغط بينما الطرف الآخر ينتفخ .

ج- انتفاخ طرى Soft swell spoilage

عندما يزداد ضغط الغاز ينتفخ طرفي العلبة ولكن الانتفاخ يكون
طرياً فيمكن ضغط الطرفين قليلاً إلى الداخل .

د- انتفاخ صلب Hard swell spoilage

عندما يكون ضغط الغاز كبيراً ، ينتفخ طرفي العلبة ولكن لا يمكن
ضغطها إلى الداخل ويعقب الانتفاخ الجامد ، انفجار العلبة وبمشاهد الغذاء
على سطح وجوانب العلبة .

٣- فساد كبريتي عفن Sulfide stinker spoilage

ويحدث نتيجة نمو ميكروب *Cl. nigrificans* وهو ميكروب متجراثم محب للحرارة العالية لاهوائى ينتج غاز يد، كب حيث أنه يؤثر على بروتينات الغذاء المحتوية على كبريت . والغاز الناتج يذوب فى الماء بسهولة لذلك فإن مظهر العلب يكون عالياً فلا يشاهد بها انتفاخ . ويتفاعل غاز يد، كب الناتج مع حديد العلبة مكوناً كبريتوز الحديدوز الأسود (ح كب) وعند فتح العلبة نجد أن الغذاء لونه أسود ورائحته كريهة ، ويشاهد هذا الفساد كثيراً فى الذرة والبسلة المعلبة . وهذا الفساد أقل حدوثاً من النوعين السابقين لأن جراثيم الميكروب *Cl. nigrificans* أقل مقاومة للحرارة من جراثيم الميكروبات المحدثه لفساد المسطح الحامضى والفساد الغازى .

٤- التعفن Putrefaction

ويحدث بواسطة بكتريا متجراثمة محبة للحرارة المتوسطة لاهوائية تعفنية ، وكثيراً ما يحدث هذا الفساد فى اللحوم المعلبة وغيرها من الأغذية البروتينية نتيجة لعدم كفاءة المعاملة الحرارية . والميكروبات المسببة أغلبها يتبع جنس *Clostridium* مثل *Cl. Sporogenes*, *Cl. bifermentans*, *Cl. botulinum* ويتميز الفساد بانتفاخ العلبة بالدرجات السابق وصفها ، وتكون غازات وروائح كريهة يد، كب ، الأندول ، يد، ك أ، يد، وطعم غير مقبول مع أحماض عضوية مثل حمض البيوتريك .

٤- فساد الغذاء الحامضى Spoilage of non-acidic food

تعامل الأغذية الحامضية المعلبة مثل عصير الطماطم ، الشربات ، المرببات ، الفواكه وعصير الفواكه ، على درجة حرارة تقرب من ١٠٠م وهى حرارة قد لا تكون كافية لقتل بعض الميكروبات المفسدة على درجة الحرارة

المستعملة . وتعد الأغذية الحامضية بأنواع مختلفة من الميكروبات منها المتجرثم ومنها غير المتجرثم المقاوم للحموضة Aciduric وكذلك الفطر والخميرة .

أ- البكتريا المتجرثمة Sporeforming bacteria

من الأنواع المفسدة *Cl. pasteurianum, Cl. butyricum, Cl. perfringens* وتسمى بكتريا حمض البيوتيريك أحياناً ، وهي ميكروبات متجرثمة لا هوائية قادرة على تحليل السكريات وتنتج غازات وأحماض ، وقد تسبب انتفاخ العلب ومن الميكروبات المفسدة أيضاً *B. thermoacidurans, B. coagulans* وهو ميكروب متجرثم محب للحرارة العالية مقاوم للحموضة ويسبب حالات فساد المسطح الحامضى وطعماً غير مرغوباً فيه .

ب- البكتريا غير المتجرثمة Non-sporeforming bacteria

تستطيع بعض الخلايا الخضرية مقاومة الحرارة وتبقى بعد البسترة ومن أهم الأنواع المفسدة بكتريا حمض اللاكتيك الكروية والعصوية وهي منتشرة بكثرة على سطوح الأغذية ، وتنمو في وجود كمية قليلة من الأكسجين وبعضها ينتج غازاً ، وتقتل على درجة حرارة أقل من ١٠٠م ومن أمثلة هذه الميكروبات *Streptococcus thermophilus, Micrococcus sp, Lactobacillus brevis, Leuconostoc Pleofructi* والأخير كروى نو علبة يكون حموضة ولزوجة في المحاليل السكرية ومنتجات الطماطم وتعتبر هذه الميكروبات مختلطة التخمر وينتج ك، الذي يسبب انتفاخ العلب ووجود الميكروبات الميزوفيلية يدل على شرخ وتنفيس Leakage في العلب .

ج- الخميرة و الفطر Yeast and molds

ونظراً لأن الخميرة والفطر لا تتحملان الحرارة العالية فإنها توجد في الأغذية المعلبة التي لم تعامل على درجة الحرارة المناسبة لو لم تأخذ مدة التسخين اللازمة أو عند حدوث تنفيس Leakage بالعلب . وتعد الخميرة

معلبات الفواكه والجيلي والمربى وعصير الفواكه والشربات واللبن المكثف المحلى وتسبب انتفاخ العلب نتيجة إنتاجها ك أ₂ . ويمكن للخمائر السطحية أن تنمو على معلبات المخللات واللحم المملح ويدل وجودها على سوء المعاملة الحرارية ومن الفطريات للهامة المفسدة التي وجدت في المعلبات الحامضية *Byssochlamys fulva* وهو يوجد بكثرة على سطوح الفواكه . ويتحمل الفطر النمو في وجود كمية قليلة من الأكسجين كما أن جراثيمه من أشد جراثيم الفطريات المقاومة للحرارة إذا أنها تتحمل درجة ٨٧,٨°م لمدة ١٠ دقائق والفطر يحلل المادة البكتينية اللاحمة Middle lamelle بين الخلايا فيسبب هرى الفاكهة ويحدث تلوث العلب بالفطريات في حالة تصنيعها في المنزل خاصة المربى والجيلي . ولقد وجد فطر *Penicillium* , *Aspergillus* على أغذية بها تركيز سكر يصل ٦٧,٥% ويمنع pH ٣ نمو هذين الفطرين أو بالتسخين على ٩٠°م لمدة دقيقة .

ثالثاً : التسمم الغذائي Food poisoning

أسباب التسمم الغذائي Reasons of Food Poisoning

هناك مجموعة من الأمراض تحدث للإنسان نتيجة تناول بعض الأطعمة وهذه تسمى بالتسمم الغذائي Food poisoning وهذه الإصابات تنتج عادة أو تتبع عملية تناول وجبة غذائية معينة أو مصدر غذائي عادي ملوث ، وعموما يعزى حدوث التسمم الغذائي سموم ناتجة من مصدر نباتي أو حيواني حيث يكون المصدر ملوث أصلا في الحالة الطازجة ، مواد كيميائية تصل للغذاء إما عن طريق الخطأ مثل ما يصل للغذاء من الأوعية أو عن طريق مواد حافظة تضاف بتركيزات عالية أعلى من النسب المسموح بها وفقا للمعايير الدولية . كذلك يأتي التسمم عن طريق مواد ملونة غير مصرح

باستخدامها بغرض اكساب الطعام لون جذاب ، وجود ميكروبات خطيرة بالغذاء أو سموم مفرزة من هذه الميكروبات .

وقد تكون الأعراض الناتجة من عديد من السموم متشابهة ولكن التشخيص النهائى لكل منها يعتمد على اختبارات معملية خاصة ويلاحظ أن الزمن الذى يمر من وقت تناول الطعام حتى ظهور الأعراض يختلف من سم لآخر وهو يقدر بحوالى ١٠ دقائق إلى ساعتين وذلك فى حالة السموم الكيماوية . أما بالنسبة للسموم الميكروبية فقد تطول الفترة إلى ٦ ساعات ، أما فى حالة ما إذا كان التسمم يرجع إلى الميكروب نفسه فإن الفترة تصبح من ١٢ - ٧٢ ساعة وتطول الفترة حتى تصبح من ٢ - ٣ أيام فى حالة ما إذا كان التسمم ناتجا من أكل بعض أنواع من الأغذية مثل المشروم .

ولذلك يكون هناك نوعين من المسببات الميكروبية إما أن تكون بكتريا ممرضة وهى التى تصيب الجهاز الهضمى Alimentary canal وتسبب الإلتهاب فى المعدة والأمعاء Gastro-enteritis أو تكون بكتريا أو سمومها التى تصيب الأمعاء gut ولكنها تنتج أعراضا لتسممات مختلفة عندما تؤكل مع طعام ملوث .

Bacteria Causing food Poisoning البكتيريا المسببة للتسمم الغذائى يمكن أن تعزى الاضطرابات المعدية والمعدية التى تنشأ عن هضم الغذاء إلى مجموعة من الأسباب مثل الإفراط فى تناول الغذاء أو فى التسمم بالكيماويات أو بالتوكسينات التى تفرزها الميكروبات أو الإصابة بالمتطفلات الحيوانية أو العدوى الميكروبية .

ويعتبر لفظ التسمم الغذائى البكتيرى Bacterial food poisoning أنه محدد للتسممات التى تنتج من تناول غذاء يحتوى بكتريا معينة أو سمومها والتى ليست موضوعة ضمن تلك المجموعة البكتيرية المسببة للعدوى بالأمراض التى أشارت إليها المراجع العالمية . وعلى سبيل المثال لتوضيح

هذا التعريف نذكر أن ميكروب الدوسنتاريا الباسيلية Dysentery bacilli قد يؤكل مع الطعام ويسبب ما يسمى Gastro-enteritis وهي الأعراض العامة للتسمم الغذائي البكتيري إلا أن هذا الميكروب لا يصنف على أنه من ميكروبات التسمم الغذائي وذلك لأنه يسبب مرضاً معروفاً مميزاً له .

ولأن أنواع الأطعمة التي تدمج في فاتمة للتسمم الغذائي تعرف بأنها تلك الأغذية التي تكون ملائمة لنمو الميكروبات المحدث للتسمم ، وعلى ذلك إنها تتيح الفرصة لتواجد أعداداً كبيرة من هذه الميكروبات أو سمومها عند تناولها كغذاء وعموماً فإن حدوث الإصابة بالتسمم الغذائي غالباً ما تشمل عدد كبير من الناس الذين تناولوا هذا الطعام المسمم .
الخلايا البكتيرية أو نواتجها كمسببات للتسمم الغذائي :

Bacterial cells or their products as causes of food poisoning

في هذا النوع من التسمم الغذائي فإنه لا تحدث أي إصابة للأمعاء بالميكروب نفسه ولكن الخلايا البكتيرية أو سمومها الخارجية تعطي أعراض التسمم الغذائي عندما تهضم أو تدخل مع الطعام ، وحيث أن السموم تمتص بواسطة جدار الأمعاء على ذلك تسمى Enterotoxins وهذه السموم تتكون في الغذاء نتيجة نمو هذه الميكروبات به ، وعلى الرغم من أن الخلايا الخضرية للميكروبات يمكن قتلها بالحرارة عند تسخين الغذاء قبل تناوله إلا أن عديد من السموم تعتبر متوسطة المقاومة للحرارة فإنها تبقى به لتحدث أعراض التسمم الغذائي عندما تؤكل ، ومن أكثر التسممات الغذائية البكتيرية أهمية هي التي تحدث من سموم سلالات معينة متخصصة من *Cl. botulinum* والميكروب *Cl. botulinum, Staphylococcus aureus* غالباً ما يحدث تسمماً مميتاً وهو الذي يسمى بالبوتيزولزم كما وأن سلالات من *Cl. perfringens* قد تحدث تسمماً غذائياً كما أن أنواعاً معينة من ميكروبات غير ممرضة مثل *proteus spp* والتي عادة لا تعتبر سامة قد تحدث Acute

gastro enteritis أما حادة في المعدة والأمعاء عندما تؤكل مع الطعام بأعداد وفيرة .

السموم الميكروبية Microbial toxins

وهي إما سموم بكتيرية أو فطرية أو طحلبية وتقسم السموم الميكروبية حسب طبيعة إنتاجها إلى سموم خارجية Exotoxins أو سموم داخلية Endotoxins

أ- السموم الخارجية Exotoxins

وهذه يدخل ضمنها تلك السموم التي ينتجها ميكروبات التسمم البوتوليني ، التيتانوس والغرغرينا والدفتريا وبعض أنواع من الشيغلا واستريبتوكوكاي

Botulism, tetanus, gasgangrene, diphtheria and some species of *Shigella* and Haemolytic *Streptococci* and *Staphylococci*

وهذه السموم تفرز بسهولة من الخلايا إلى الوسط المحيط في البيئة الغذائية وتتميز هذه السموم بأن لها صفات سمية مختلفة كما أنها مؤثرة بكميات ضئيلة . وهذه لها مميزات الإنزيمات فهي تحلل المكونات الهامة والضرورية من خلايا النسيج أو العضو الذي تصل إليه . ولا بد وأن تمر فترة من الزمن بين حقن هذه السموم في الجسم وحتى يحدث التسمم وهذه تختلف من عدة دقائق كما في حالة سموم *Staphylococci* إلى عدة ساعات لو أيام كما في حالة سم *Botulinum* كما تمتاز السموم الخارجية بأن لها صفات مختارة أي أنها متخصصة في إصابة أعضاء خاصة أو أنسجة معينة من الجسم . كما وأنه من الناحية الكيماوية نجد أن السموم الخارجية تنتمي إلى مواد ذات طبيعة بروتينية وهذه السموم ضعيفة الثبات لتأثير الضوء والأكسجين ، حيث تتدهور على درجات ٦٠ - ٨٠ م / ١٠ - ٦٠ دقيقة وعند الغليان تتحطم تماما وفي الحال ، وفي حالة الجفاف نجد أنها أكثر ثباتا

للحرارة العالية والضوء والأكسجين ولا تتأكسد بسرعة ، ويراعى أنه عند إضافة السكر للسم يزيد مقاومته للحرارة كما أن هذه السموم مثل سم

Cl. botulinum, Cl. perfringens pathogenic staphylococci

لا يمكن تكسيرها في المعدة أو الأمعاء وبالتالي تسبب التسمم . توكسين الدفتيريا بمعاملته بالفورمالين ٠,٣ - ٠,٤% على ٣٨ - ٤٠م فإنه خلال ٣٠ - ٤٠ يوم يفقد سميته ويصبح غير سام .

وبعض النوكسينات الخارجية مثل توكسين الدفتيريا والغريغرينة الغازية تتكسر بواسطة انزيمات الهضم أو أن هذه التوكسينات تصبح عديمة المفعول إذا وصلت عن طريق الفم أما التوكسينات مثل توكسين البوتولين والاستافيلوتوكسين فلا يتأثران ويؤديان إلى حدوث التسمم عن طريق الفم ، وقد أمكن في السنين الأخيرة تحضير توكسينات نقية من الدفتيريا والبوتولين والنتانوس بواسطة الترسيب عند نقطة التعادل الكهربى وإعادة الترسيب بحمض ثلاثى كلوروكليك عند درجات حرارة منخفضة ورقم pH ٤,٠ مع الترسيب بالتمليح بواسطة سلفات الأمونيوم والإمصاص على أعمدة الكروماتوجرافيا . وقد وجد أن التوكسين النقى يفوق فى درجة سميته التوكسين الخام وتتفاوت السموم النقية فى درجة سميتها فتوكسين البوتولين أقوى ٢٥ مرة من توكسين الدفتيريا لنفس الكمية .

ب- السموم الداخلية Endotoxins

إن الميكروبات المسببة لحمى الأمعاء Enteric fever الباراتفويد ، والدوسنتاريا والسيلان وكثير من الأنواع المسالبة لجرام لا تنتج سموماً خارجية ولكنها تحتوى على سموماً داخلية Endotoxins. وهذه السموم الداخلية تكون أكثر تماسكاً وارتباطاً بجسم الخلية البكتيرية ولها طبيعة خاصة مثل طبيعة مركبات جدار الخلية البكتيرية وهى أقل سمية من السموم الخارجية وتؤثر على النمو إذا أخذت بكميات كبيرة ، كما أن فترة تأثيرها وهى الفترة التى

تمضى من وقت حقنها حتى ظهور الأمراض تقاس عادة بالساعات كما أنها ضعيفة التخصص أى أنها تحتاج لفترة أطول لإحداث التسمم.

ومن الناحية الكيماوية نجد أن السموم الداخلية تنتمى إلى مجموعة الـ Lipo-glucoside والسكريات العديدة أو معقد الفوسفوليبيد مع البروتين Phospholipoprotein وهى ثابتة حرارياً Thermostable فقد وجد أن بعض السموم الداخلية يمكنها أن تقاوم الغليان أو المعاملة فى الأوتوكلاف على ١٢٠م لمدة ٣٠ دقيقة وفى المعاملة بالفورمالين على درجات حرارة عالية نسبياً نجد أنها تصبح غير ضارة جزئياً حيث تفقد كثيراً من سميتها .

التسمم الغذائى العفوى Staphylococcal food poisoning

هو التسمم الناشئ عن التوكسين المعوى الذى تفرزه بكتريا والذي يسبب التهاب الأغشية المبطنه للمعدة والأمعاء والميكروب المسبب هو *Staphylococcus aureus* وقد اكتشفه R.koch عام ١٨٧٨ وأمكن عزله أخيراً من الدمامل الصغيرة التى تظهر على الجلد بواسطة L. Pasteur عام ١٨٨٠ ووصف خلاياه بأنها كروية الشكل قطر الخلية ما بين ٠,٨ - ١ ميكرون وتكون تجمعات غير منتظمة تأخذ شكل العناقيد وإذا ما حضر غشاء من الدمامل أو من المزارع فإن الميكروب يظهر فى سلاسل قصيرة أو فى شكل أزواج أو خلايا منفردة كروية ، كما قد تظهر أشكال مختلفة مثل الـ G.forms, L.forms أو غيرها فى حالة فحص المزارع التى سبق أن تعرضت لمعاملات طبيعية أو كيماوية أو حيوية وميكروبات الـ Staphylococci يمكن تمييزها عن بعضها حسب اختلاف الصبغات التى تميز كل منها حيث تتميز كل سلالة بلون معين والتى يمكن تسميتها حسب لون الصبغة حيث أن golden Staphylococcus تميز *Staph . aureus* ، *White Staphylococcus* تميز *Staph . albus* بينما Lemon-yellow *Staphylococcus citreus* تميز

ولقد وجد أن الميكروب المسبب ينمو في تجمعات عنقودية أو في أزواج أو في سلاسل قصيرة ونمواته على البيئة الصلبة صفراء أو ذهبية أو عديمة اللون في بعض السلاسل ، وكل السلاسل المنتجة للتوكسين موجبة لاختبار إنزيم الكواجيليز Coagulase test وهي اختيارية هوائية ، تنمو في وجود الهواء أفضل من نموها في عدم وجوده . وبالرغم من أن كل السلاسل المنتجة للتوكسين موجبة لاختبار الكواجيليز إلا أن كل السلاسل الموجبة لهذا الاختبار من جنس ستافيلوكوكس ليست منتجة للتوكسين . وبعض السلاسل المنتجة للتوكسين تتحمل درجات ملوحة عالية تقارب درجة التسبع ، وهي تتحمل أيضاً نسباً كبيرة من السكر الذائب وهي ميكروبات محلة للبروتين ، مخمرة ، إلا أنها لا تنتج روائح كريهة في الأغذية ، وكذلك لا تحول مظهر الغذاء .

لذلك نجد كثيراً من حالات التسمم الغذائي بالـ Staphylococci ترتبط مع استخدام اللبن ومنتجاته مثل القشدة المستخدمة على التورتات والحلويات المستخدمة في إنتاجها اللبن مثل الكسترد Custards وكذلك استخدام اللحوم المجهزة كما في حالة الفطائر وشرائح اللحم المطبوخة حيث أن هذه الأغذية مفضلة للميكروب لحدوث تكاثر سريع متبوعاً بإنتاج السم في ظروف الجو الدافئ إذا لم يتم حفظ هذه الأغذية في التلجيات . وفي حالة اللبن الغير مبستر قد يصل الميكروب إليه عن طريق ضرع الحيوان حيث أن الـ Staphylococci يوجد غالباً على جلد الإنسان والزور فإنه يكون هناك فرص عديدة لحدوث تلوث الغذاء أثناء التجهيز والإعداد ومن أنواع الـ Staphylococci ما هو قادر على إنتاج سموم داخل الأمعاء Enterotoxins والتي لا تتكون بكميات معنوية إلا إذا بلغ العدد البكتيري ما بين $10^6 - 10^7$ لكل جرام واحد من الغذاء . وتنتج ميكروبات ستافيلوكوكس أربعة أنواع سيرولوجية للتوكسين تعرف بالأنواع A, B, C,

D وتختلف هذه الأنواع في درجة سميتها وغالبية أنواع التسمم الغذائي تنتج من النوع A. ويمكن أن يقال أنه كلما كان الغذاء مناسباً لنمو هذه الميكروبات وكلما كان المجال الحراري الذي تعيش فيه متوفراً ، وكذلك مجال تركيز أيون الهيدروجين ومعامل نشاط الماء المناسب لتكاثرها متسعاً كلما كان مناسباً لإنتاج التوكسين . وبالتالي فإن درجة الـ pH الدنيا للنمو في وجود الهواء ٤,٨ ، ٥,٥ في عدم وجوده . أما معامل نشاط الماء فهو ٠,٨٦ في وجود هواء و ٠,٩٠ في عدم وجوده .

التسمم البوتشولينى Botulism

هو تسمم ينشأ من تناول طعام يحتوى على سم خارجى ويسببه ميكروب *Clostridium botulinum* وهذا لا يحلل الألبومين بينما *Cl. parobotulinum* فهو محلل للألبومين وقد اكتشف هذا النوع من التسمم فى هولندا فى عام ١٨٩٦ وقد عزل من لحم الخنزير حيث كان سبباً فى إصابة عدداً كبيراً من الناس بهذا التسمم كما وجد أيضاً فى أوروبا نتيجة تناول سجق Sausages حيث كان سبباً فى حدوث هذا التسمم ولكن فى أمريكا كان السبب تناول خضروات معلبة وفى روسيا ظهر هذا النوع نتيجة تناول السمك الأحمر Red fish الملوث بالميكروب .

ويمتاز الميكروب بأنه عصوى كبير بنهايات مستتيرة نتيجة وجود جرثومة طرفية منتفخة وطول الميكروب حوالى من ٣ - ٨ ميكرون وعرضه ما بين ٠,٥ - ٠,٨ ميكرون كما أنه قد يوجد أحياناً فى شكل قصير أو خيوط طويلة وهو ميكروب متحرك بطئ ويوجد على الخلية حوالى من ٤ - ٣٠ فلاجيلا فى الظروف الخارجية نجد أنه يكون جراثيم بيضاوية طرفيه لو قربية من الطرف Terminal or subterminal وبذلك تأخذ الخلية شكل مضرب التنس Tennis rackets والميكروب موجب لجرام لاهوائى حتماً ينتج غازات فى الوسط الغذائى ودرجة الحرارة المثلى للسلائ A, B, C &

D هي ٣٤ - ٣٥ م أما بالنسبة للنوع Type E هي ٢٥ - ٢٨ م وجميعها تنمو على البيئات العادية التي لها pH ٧,٦ - ٧,٣ . الميكروب ينتج Exotoxin وينتج السم سواء في المزرعة أو في الغذاء مثل اللحوم والسمك والخضروات في الظروف المناسبة كما أنه ينتج داخل جسم الإنسان أو الحيوان على حد سواء . ويلاحظ أن تكاثر الميكروب وكذا تراكم السم يمكن تثبيطه في وجود حوالي ٦ - ٨% من ملح الطعام (ص كل) أو في البيئات الغذائية ذات تفاعل حامضي. كما أن التسخين على درجة ٩٠ م / ٤٠ دقيقة أو الغليان / ١٠ اق فإنها تحطم السم تماما .

يعتمد إنتاج التوكسين في هذه الميكروبات على إمكانيات المعيشة في الغذاء . ويبدو أن إفراز التوكسينات من الأنواع A, B يتم أولاً في صورة جزيئات غير نشطة تتحول إلى جزيئات شديدة السمية إذا تعرضت للتأثير المائي بعض الشيء. والعوامل التي تؤثر على إنتاج التوكسين بوجه عام هي تركيب الغذاء وخصوصاً محتواه من الجلوكوز أو المالتوز. وكذلك نسبة الرطوبة وتركيز أيون الهيدروجين وجهد الأكسدة والاختزال للبيئة ومحتوى الغذاء من الأملاح ودرجة الحرارة التي يحفظ عليها .

التسمم السالمونيلى Salmonellosis

تسمى العدوى ببعض سلالات السالمونيلا أحياناً تسمماً غذائياً لأن مظاهر الإصابة تشابه تلك التي تنشأ من التسمم بتوكسين الاستافيلركوكس. وهذا بالإضافة إلى أن بداية المرض عادة ما تكون وبائية في عائلات بأكملها أو مجموعات كبيرة من الناس. وذلك لأن الميكروب يكون قد تكاثر بأعداد كبيرة في الأغذية ، في حين أن الإصابة بالميكروبات المعوية الممرضة الأخرى التي تسبب الدوسنتاريا والتيفود والباراتيفود تحتاج إلى فترة تحضين أطول باستثناء الحالات الوبائية .

والسالمونيلا ميكروب عصوي قصير سالب للصبغ بجرام ، لا يكون جراثيماً ، يخمر الجلوكوز مكوناً غازاً ولا يخمر اللاكتوز والسكروروز. وينمو الميكروب في مجالات حرارة وحموضة أكبر كلما كانت البيئة أكثر ملائمة . ويكفي لقتل الميكروب حرارة ٦٦م لمدة ١٢ دقيقة على الأقل واحتمال العدوى بغذاء يحتوى على السالمونيلا يعتمد على مقاومة المستهلك للعدوى بسلالة معينة . وهناك بعض السلالات الضعيفة التى يلزم للعدوى بها وجود مئات الملايين من الميكروب ، بل البلايين لإحداث العدوى من السالمونيلا. فى حين توجد أنواع أخرى من السالمونيلا إنترينيدس يكفى وجود حوالى مليون ميكروب لإحداث العدوى . ولا تحدث السالمونيلا فى كثير من الأطعمة تغيرات تذكر فى الطعم والرائحة والقوام وهذا سبب خطورتها حيث لا يوجد أى ظواهر تمنع المستهلك من تناول الغذاء الملوث .

يعتبر الإنسان والحيوان المصدر الأساسى للميكروب سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة وأحياناً تأتى الميكروبات من القطط والكلاب والخنازير وتعتبر الدواجن والبيض مصدراً مهماً ، وتعيش هذه الميكروبات فى القولون . ويعتبر بيض الدجاج المجفف أو المجمد أو السائل حاملاً للميكروب . ويمكن أن تسبب الفئران المصابة تلوثاً فى الأغذية الغير معتنى بتخزينها لتعرضها لمخلفات الفئران ، وتحتوى الأغذية المكونة من اللحم أو من السمك أو من مشتقاتها أحياناً على ميكروبات السالمونيلا. وعندما تقم هذه الأغذية كعلائق للحيوانات الأليفة تصبح مصدراً للعدوى للأطفال التى تلامس هذه الحيوانات الأليفة . وأهم ما يميز هذا المرض هو طول فترة التحضين والتى تبلغ ١٢ - ٢٤ ساعة وأحياناً تصل ٧٢ ساعة وتتمثل أعراض هذا المرض فى القيء ، الأم البطن الإسهال المفاجئ ، صداع ورعشة برودة . كذلك يدل على المرض البراز المائى المخضر ذو الرائحة الكريهة. الضعف العام وشحوب اللون وضعف العضلات علاوة على ارتفاع درجة الحرارة .

الفصل الخامس عشر : ميكروبيولوجيا التربة الزراعية

ميكروبيولوجيا التربة الزراعية

Soil Microbiology

علم ميكروبيولوجيا الأراضى هو واحد من أهم فروع علم الميكروبيولوجيا والذي يختص بدراسة النشاط الميكروبي وكذلك العلاقات المتبادلة بين الميكروبات والأراضى . وكذلك العلاقات التى تنشأ بين الميكروبات والنباتات وذلك بهدف الوصول إلى خصوبة عالية للتربة الزراعية وكذلك الظروف المثلى اللازمة للحصول على أعلى إنتاجية للنباتات المنزرعة .

وتعتبر التربة جسماً وسطاً مائلاً بالحياة نظراً لما تحتويه من الكائنات، الحية الدقيقة وغير الدقيقة ذات التأثير المباشر على خواصها الطبيعية والكيمائية والحيوية . ومن ناحية أخرى فإن أعداد ونشاط هذه الأحياء وخاصة الدقيقة منها تتأثر بالخواص الطبيعية والكيمائية للتربة . ويمكن القول أنه لولا تواجد الميكروبات لتوقفت الحياة على سطح الأرض حيث تقوم هذه الميكروبات بدوراً هاماً فى المحافظة على خصوبة التربة . ذلك من حيث قدرتها على إمداد النباتات بما تحتاجه من عناصر غذائية وذلك عن طريق معدنتها للمواد العضوية وتثبيتها لنيتروجين الهواء الجوى وكذلك تيسيرها للعناصر الغذائية غير الميسرة فى التربة وإفرازها لكثير من مواد النمو . كما تلعب الميكروبات دوراً هاماً فى المحافظة على التوازن البيولوجى فى الكون بإنتاجها لثانى أكسيد الكربون خلال عملية تحلل المواد العضوية مما يعمل على تعويض النقص الناتج من عملية التمثيل الضوئى للنبات . كما تلعب الميكروبات أيضاً دوراً فعالاً فى تحليل المبيدات الزراعية وملوثات التربة . وتحت ظروف خاصة قد ينشأ تنافس شديد بين الميكروبات والنبات على العناصر الغذائية المتواجدة فى التربة فى صورة صالحة

للنباتات . كما تقوم بعض الميكروبات بإفراز مواد سامة تؤثر على نمو النباتات أو تسبب أمراضا لها مما ينعكس سلباً على إنتاجيتها . ونناقش في هذا الجزء وباختصار شديد العوامل المؤثرة على نمو ونشاط الكائنات الحية الدقيقة في التربة ثم نلقى الضوء على مكونات المجتمع الميكروبي بالأراضي وكذلك دور هذه الكائنات في تحولات بعض العناصر الغذائية الهامة في التربة وتأثير ذلك على خصوبة التربة وإنتاجية المحاصيل .

لولا : العوامل المؤثرة على النمو الميكروبي

تحتوى التربة على مجتمع متنوع من الكائنات الحية الدقيقة منها البكتيريا بأجناسها وأنواعها المختلفة والأكتينوميستات والفطريات والطحالب والبروتوزوا وكذلك الفيروسات ويتحكم في أعداد ونشاط هذه الكائنات الكثير من العوامل والتي من أهمها :

رقم الحموضة :

تتأثر ميكروبات التربة من حيث أعدادها ونشاطها تأثيراً كبيراً بدرجة الحموضة (pH) حيث وجد أن معظم أجناس بكتيريا التربة تستطيع أن تعيش في درجة الحموضة القريبة من التعادل والتي تتراوح قيمتها من ٦ إلى ٨ . بينما يؤدي إرتفاع أو إنخفاض قيمة pH عن هذه الدرجة إلى التأثير على نشاط وأعداد هذه البكتيريا . أما في الأراضي الحامضية فتسود الفطريات وتقل أعداد البكتيريا كما تتراكم المواد العضوية ، وكذلك في حالة الأراضي القلوية تتوقف الكثير من العمليات الحيوية الهامة ويحدث نقص شديد في أعداد الميكروبات .

الرطوبة :

تتأثر أعداد الميكروبات في الأراضي الزراعية بما تحتويه من الرطوبة . ولقد وجد أن نسبة الرطوبة الملائمة لنمو الميكروبات هي تلك التي تتراوح ما بين ٥٠-٧٠% من السعة الحقلية (WHC) . وزيادة الرطوبة عن

هذه الدرجة يكون ذات تأثير عكسي حيث تقل نسبة الهواء لحد كبير مما يؤثر تأثيراً ضاراً على أعداد الميكروبات الهوائية بالأراضي بينما تزداد أعداد الميكروبات اللاهوائية والتي تعمل على التحليل غير الكامل للمواد العضوية منتجة مركبات وسطية ذات تأثير سام على النباتات . ومن ناحية أخرى فإن تعرض الأراضي للجفاف يؤدي إلى قتل الكثير من الميكروبات وعند تعرض الأراضي لفترة جفاف طويلة فلا يتبقى إلا أنواع الميكروبات المقاومة للجفاف والتي تمثل نسبة قليلة من المحتوى الميكروبي الكلي بالأراضي .

التهوية :

تختلف ميكروبات التربة من حيث احتياجاتها الهوائية وبالتالي فهي تختلف في مدى تأثيرها بالتغيرات التي تحدث في تركيب هواء التربة . حيث نجد من ميكروبات التربة الزراعية الهوائية حتماً Strict aerobes وهي التي لا تنمو إلا في وجود الأكسجين واللاهوائية حتماً Strict anaerobes وهي تلك التي لا تنمو إلا في غياب الأكسجين . كما أن منها الاختيارية Facultative microbes وهي تلك التي لا تتأثر بوجود أو غياب الأكسجين ومنها تلك التي تحتاج لنموها إلى كمية قليلة من الأكسجين Microaerophiles . وعندما تسود الظروف اللاهوائية في التربة فإنها تكون ذات تأثير سيئ على النشاط البيولوجي عموماً حيث أن النسبة الغالبة من ميكروبات التربة تعتبر هوائية كما أنه تحت الظروف اللاهوائية يتوقف كثير من العمليات الحيوية المؤثرة على خصوبة التربة والمرتبطة بنمو النبات .

المادة العضوية :

يتأثر معدل النشاط البيولوجي في التربة تأثيراً كبيراً بمحتواها من المادة العضوية حيث أنها تعتبر المخزن الرئيسي لإمداد الميكروبات باحتياجاتها الغذائية . كما تتأثر الميكروبات بنوعية المادة العضوية السائدة في التربة وتركيبها الكيميائي . حيث وجد أن المواد العضوية المحتوية على

(٤٣٧)

نسبة عالية من المادة الكربوهيدراتية تشجع الأنواع المحللة لها كمحللات النشا والسليلوز أو البكتين . أما المادة العضوية ذات النسبة العالية من المواد البروتينية فإنها تشجع تواجد الأجناس والأنواع المحللة للبروتينات في التربة وذلك لما تمتلكه كل مجموعة ميكروبية من نظم إنزيمية متخصصة .

القوام :

يؤثر القوام السائد للتربة الزراعية على الأحياء المتواجدة بها كما ونوعاً ، حيث يؤدي القوام الطيني الثقيل إلى سيادة الظروف اللاهوائية في التربة الزراعية كما يقلل من سرعة تحلل المادة العضوية فيها نتيجة إدمصاص الكثير منها على حبيبات الطين مما يؤدي إلى قلة النشاط الميكروبي . بينما القوام الخفيف يؤدي إلى سيادة الظروف المناسبة للنشاط الميكروبي الأمثل أما في حالة التربة الرملية فإن النشاط البيولوجي فيها يكون ضعيفاً وذلك لفقرها في العناصر الغذائية والمواد العضوية وقلة قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة .

الملوحة :

تؤثر ملوحة التربة على أعداد الميكروبات بها تأثيراً سلباً ولذلك فإن تقليل الملوحة في التربة بتكرار الغسيل تحسن من العمليات الحيوية كما تؤدي إلى زيادة أعداد الميكروبات .

العمليات الزراعية :

يصاحب إعداد الأراضي للزراعة الكثير من العمليات الزراعية مما يؤثر على أعداد الأحياء الدقيقة بها تأثيراً إيجابياً . فعملية تجهيز التربة للزراعة وكذلك عمليات الحرث والعزق تحسن من البناء وتهوية التربة مما يزيد من النشاط الحيوي بها . كما أن تعاقب زراعة المحاصيل من خلال الدورة الزراعية يكون ذات تأثير كبير على النشاط الميكروبي بالتربة كما

ونوعاً نتيجة لإختلاف هذه المحاصيل في إفرازات جذورها وكذلك لإختلاف هذه الجذور في مدى تعمقها وإنتشارها في التربة من محصول لآخر .

ثانياً : مكونات المجتمع الميكروبي

تحتوى التربة الخصبة على أعداد ضخمة من الكائنات الحية الدقيقة تشمل على أنواعاً عديدة ، وهذا الأعداد تكون في تغيير مستمر مما يعطى صورة ديناميكية للنشاط البيولوجى فى الأرضى حيث ينشأ بينها العديد من صور التعاون والتضاد . ولقد وجد أن الأرضى الخصبة تحتوى على المجموعات الميكروبية الرئيسية مثل البكتيريا والأكتينوميستات والفطريات والطحالب والبروتوزوا وكذلك الفيروسات . يتحكم فى أعداد هذه الكائنات توازن بيولوجى يؤثر فيه العوامل البيئية المختلفة . وفى هذا الجزء نلقى نظرة سريعة على مدى إنتشار وأهمية وأعداد أهم هذه المجموعات فى التربة .

البكتيريا Bacteria

تعتبر البكتيريا أكثر المجموعات الميكروبية إنتشاراً فى التربة من حيث أعدادها وأنواعها وكذلك نشاطها وما تقوم به من عمليات بيولوجية وتغيرات حيوية هامة . ويزداد هذا النشاط خاصة فى الأرضى المتعائلة أو التى تميل قليلاً ناحية القلوية .

ومن ناحية طرق تقدير أعداد البكتيريا فى الأرضى فقد استخدمت طرق كثيرة أهمها الطريقة الميكروسكوبية المباشرة وطريقة العد بالأطباق ولكل طريقة من هذه الطرق مميزاتا وعيوبها . ولقد وجد أن أعداد البكتيريا فى الأرض الواحدة تختلف حسب الطريقة المستخدمة فى العد وكذلك طريقة أخذ العينة ووقت أخذها والأعماق التى تؤخذ منها . وعموماً تعطى الطرق الميكروسكوبية أعداد أعلى بكثير من الطرق المزرعية حيث وجد أن أعداد البكتيريا المقدرة بالطريقة الأولى تصل إلى ١٠^٩ مستعمرة / جرام تربة وتعتبر هذه الأعداد كبيرة جداً إذا ما قورنت بالأعداد المتحصل عليها بطريقة

العد بالأطباق والتي تعطى أعداداً تصل إلى مئات الملايين في كل جرام من التربة الخصبة .

أما من ناحية نوعية الميكروبات السائدة في التربة فإنه يمكن القول وقياساً على نتائج العد البكتيري في الأطباق أن البكتيريا المتجترمة من جنس *Bacillus* تتواجد في كل أنواع الأراضي بكميات كبيرة أما الأنواع الأخرى فإنها تتواجد بكميات أقل . كما وجد أن التربة تحتوى على أنواع متعددة من البكتيريا تختلف في نظم حصولها على الطاقة فمنها ما يستطيع استخدام أكسجين الهواء الجوى مباشرة مثل الأنواع التابعة لجنس *Bacillus* وأنواع بكتيرية أخرى كثيرة . ومنها ما يحصل على الطاقة نتيجة تفاعلات كيميائية إختزالية مثل بكتيريا إختزال النترات والكبريتات . ومن الأجناس واسعة الإنتشار في الأراضي جنس *Arthrobacter* حيث لوحظ تواجده بنسب تصل إلى ٣٥% من المستعمرات التي تظهر في أطباق العد . كما لوحظ وجود بعض الأنواع التابعة لأجناس *Pseudomonas* ، *Corynebacterium* ، *Erwinia* بنسبة عالية في التربة وأيضاً تبين وجود نسب لا بأس بها من الأنواع التابعة للأجناس التالية *Clostridium* ، *Mycobacterium* ، *Enterobacter* ، *Escherichia* ، *Protues* ، *Micrococcus* ، *Flavobacterium* ، *Agrobacterium*

ولقد وجد أن أعداد البكتيريا يقل كلما ابتعدنا عن سطح التربة حتى تصبح نادرة على بعد متر واحد تقريباً ، كما يقل تواجدها أيضاً كلما زادت الحموضة ، وفي هذه الحالة تزداد الأنواع المتجترمة . كما وجد أن الرطوبة تشجع تزايد أعداد البكتيريا في التربة وإذا زادت درجة التشبع في التربة عن ٨٠% من السعة المائية يقل تواجد البكتيريا الهوائية وتزداد البكتيريا اللاهوائية مثل جنس *Clostridium* . كما تتأثر أعداد البكتيريا بالتسميد حيث تصل إلى أعلى أعداداً لها عند التسميد بالأسمدة العضوية والمعدنية معاً كما

يزيد التسميد المعدنى وحده من تعداد البكتيريا أيضا فيبلغ تعداد البكتيريا أقصاه عند التسميد بكبريتات الأمونيوم + الجير حيث أن إضافة الجير يعادل الحموضة الناتجة من استخدام كبريتات الأمونيوم كما أنه يحسن من تهوية التربة لتأثيره على جميع حبيباتها .

الفطريات Fungi

وهي تلى في أعدادها في التربة كل من البكتيريا والأكتينوميسيتات وعلى الرغم من ذلك فإنه في التربة الخصبة جيدة التهوية تمثل الفطريات الجزء الأكبر من الوزن الكلى للبروتين الميكروبي نظراً لكثرة هيفات الفطر وصغر حجم الخلية البكتيرية .

ولقد وجد أن أعداد الفطريات في التربة يتأثر بكثير من العوامل فنظراً لكون هذه المجموعة من الكائنات الحية الدقيقة غير ذاتية التغذية (هتروتروفية) فإنها تتواجد بكثرة في المناطق التي تحتوي على مادة عضوية بوفرة مثل الأراضي العضوية . كما أنه نظراً لإحتياج الفطريات إلى كمية كبيرة من الأكسجين حيث أنها هوائية فإن معظم الفطريات تسود في الطبقة السطحية من التربة ، وتقل كلما تعمقنا لأسفل . لما من حيث تأثير بناء التربة فقد وجد أن أعداد الفطريات تزداد كلما كان البناء مفككاً وكذلك وجدت زيادة في أعدادها كلما بعد الماء الأرضي كما تزداد أعداد الفطريات أيضاً كلما زالت الثقوب الناتجة من بيدان الأرض في التربة . لما بالنسبة لدرجة الرطوبة فقد وجد أن أعداد الفطريات تزداد كلما قلت نسبة الرطوبة في الأرض كما أن درجة pH للتربة تكون ذات تأثيراً هاماً على أعداد الفطريات حيث وجد أن أعدادها تزداد مع زيادة الحموضة حتى درجة pH ٥,٨ إلا أنه يمكن إنشاؤها في المزروعات للنقية على درجة pH تتراوح بين ١-٣ .

ولقد استخدمت طرق كثيرة لدراسة أعداد الفطريات وتقدير نشاطها في التربة ووجد أنه ليس هناك طريقة واحدة لدراسة الفطريات في التربة يمكن أن

تعطى صورة دقيقة لمدى إنتشارها ونشاطها . ولقد وجد أن أعداد الفطريات باستخدام طريقة العد بالأطباق تتراوح بين ٢٠٠٠٠ إلى مليون مستعمرة / جرام تربة خصبة ، وإن كانت هذه الطريقة تتعرض لكثير من النقد حيث أن المستعمرات التى تظهر على الأطباق قد تنتج من جرثومة ساكنة أو جزء من الميسليوم وعلى ذلك فإن وجود أنواع من الفطريات السريعة فى تكوين الجراثيم فى التربة ينتج عنه أعدادا كبيرة عند العد بالأطباق .

أما عن دور الفطريات فى التربة فقد وجد أن للفطريات دورا كبيرا فى مقاومة النيماتودا كما وجد أن بعض الفطريات لها القدرة على إنتاج مضادات الحيوية Antibiotics . وكذلك تلعب الفطريات دورا هاما فى تحليل بعض المواد المعقدة فى التربة مثل البكتين والسليولوز والدهون واللجنين كما تلعب دورا هاما فى معدنة النيتروجين العضوى ولها دورا أساسيا فى تكوين الدبال Humus . كما تقوم مجموعة فطريات الميكوريزا Mycorrhiza بدورا هاما فى حياة بعض النباتات خصوصا أشجار الغابات والتى تعتمد على هذه الفطريات فى التغذية حيث تقوم الفطريات بعمل الشعيرات الجذرية على جذور النبات العائل حيث تساعد النبات على امتصاص الماء والغذاء والملاح المعدنية مثل الفوسفور والكالسيوم والبوتاسيوم والنحاس والحديد . هذا علاوة على أن بعض الفطريات يسبب الكثير من الأمراض الخطيرة لكثير من النباتات .

الأكتينوميستات Actinomycetes

هى مجموعة من البكتيريا الخيطية الموجبة لجرام وإن كانت تدرس كمجموعة مستقلة نظرا لأهميتها الخاصة ودورها الهام فى التربة . وهذه المجموعة واسعة الإنتشار وهى تلى البكتيريا فى أعدادها وإن كانت هذه الأعداد تختلف كثيرا حسب نوع التربة وكذلك حسب الظروف الطبيعية أو الكيميائية المحيطة . ولقد وجد أن طريقة العد بالأطباق تعطى أعدادا

للاكتينوميسيتات غالباً ما تتراوح بين ٥١٠ - ٨١٠ مستعمرة / جم تربة . وهذه المجموعة الميكروبية تستطيع إستخدام العديد من المواد كمصدر للكربون والطاقة منها المواد البسيطة ومنها المركبات شديدة التعقيد . وتعتبر قدرة هذه المجموعة على تحليل الكيتين Chitin صفة مميزة لها كما تستطيع تحليل كثير من المواد الغريبة والتي تصل إلى التربة مثل البرافينات والمسترويدات كما أن منها أنواعاً قادرة على تحليل المبيدات التي تصل إلى التربة أيضاً . وبدراسة دور ونشاط هذه الكائنات الهامة في الأراضي وجد أنها لبطاً في نموها من كل من البكتيريا والفطريات حيث لوحظ أن نشاطها يبدأ بصورة فعالة بعد أن تكون البكتيريا والفطريات قد قامت بتحليل المادة العضوية في التربة إلى درجة تسمح بنمو الأكتينوميسيتات . وهذه الظاهرة لها أهميتها حيث أنه في حالة توفر ظروف ملائمة للنشاط الميكروبي في التربة مثل إضافة مواد عضوية بها مكونات سهلة التحلل يظهر التنافس بين ميكروبات التربة بوضوح . ونظراً لبطء هذه المجموعة في نموها فإن قدرتها على التنافس تكون محدودة وبالتالي فإن أعدادها تقل في الفترات الأولى للتحلل .

ومع نقص المواد السهلة من المادة العضوية المضافة تبدأ أعداد هذه المجموعة في الزيادة وتصبح لها السيادة حيث تستفيد من قدرتها على تحليل المواد المعقدة . وبالرغم من أن هذه المجموعة معروفة منذ فترة طويلة إلا أن أهميتها قد زادت بعد أن عرف أن كثير منها ذات قدرة كبيرة على إنتاج مضادات الحيوية Antibiotics والتي لها أهمية كبيرة في علاج الكثير من الأمراض . وعموماً فهذه الميكروبات تلعب دوراً ذو أهمية خاصة في التربة حيث تقوم بتحليل المواد المعقدة في البقايا النباتية والحيوانية وتحويلها إلى الصورة الصالحة لتغذية النبات . كذلك لها دور فعال في تكوين الدبال Humus عن طريق إحداث تحولات في المواد العضوية المضافة للتربة .

تقوم بدور فعال في التحولات التي تحدث في درجات الحرارة المرتفعة مثل تلك التي تحدث في لکولم السماد العضوي النباتي والحيواني . بعضها يسبب لمرضا نباتية مثل الجرب العادي في البطاطس *Streptomyces scabies*. تستطيع جميع حبيبات التربة عن طريق هيفاتها مما يزيد من خصوبة التربة عن طريق تحسين تهويتها . هذا علاوة على إعطاء التربة الرائحة الخاصة بها وذلك نتيجة لإفرازها لمركب Geosmin . مضادات الحيوية التي تفرزها قد يكون لها دورا هاما في التوازن الميكروبي في التربة . كذلك بعض الأجناس التابعة لهذه المجموعة يكون لأفرادها دورا هاما في خصوبة التربة من حيث قدرتها على تثبيت النيتروجين الجوي مثل أفراد جنس *Frankia* والتي تستطيع تكوين عقد جذرية على النباتات البقولية خاصة الأشجار مثل أشجار الكازورينا الطحالب *Algae*

هي كائنات وحيدة الخلية ممتلئة للضوء توجد في التربة تحتوي على نسبة كبيرة من الرطوبة وتنمو في الطبقة السطحية نظرا لإحتاجها للضوء وهي ذاتية التغذية (أوتوتروفية) حيث تحصل على الطاقة اللازمة لها خلال عملية التمثيل الضوئي . وتكون أعداد الطحالب أقل من البكتيريا والأكتينومييسيتات والفطريات . ويمكن تقدير أعدادها في التربة باستخدام طريقة العد التقريبي باستخدام بيئة غذائية معدنية خالية من الكربون وتحتوي على العناصر اللازمة لنمو الطحالب وذلك في الضوء لمدة ٤-٦ أسابيع . ولقد بينت الدراسات العملية أن أعداد الطحالب في الطبقة السطحية من التربة تتراوح بين ١٠٠-٥٠٠٠٠ مستعمرة / جرام تربة . ومن حيث أهميتها في التربة فقد لوحظ أن إضافتها إلى تربة يغيد النبات وقد أمكن تحليل ذلك بأن الطحالب تقوم بإنتاج مركبات عضوية وتثبيت العناصر والأملاح المعدنية . كما تقوم بتدعيم التربة ضد عوامل التعرية . كما أن بعض الأنواع التابعة لمجموعة الطحالب الخضراء المزرقة كذلك التابعة للجنس *Nostoc* وغيرها مثل طحلب *Anabaena* يمكنها

تثبيت لزوت الهواء الجوى والذي يحسن من خصوبة التربة . كما وجد أيضا أن نمو الطحالب فى اراضى الارز وقيامها بعملية التمثيل الضوئى يعطى كميات كبيرة من الاكسجين اللازمة لتنفس الجنور . ولقد وجد أن الاراضى الزراعية تحتوى على مجموعات من الطحالب الرئيسية مثل الطحالب الخضراء *Chlorophyceae* والطحالب الخضراء المزرقه *Cyanophyceae* والدياتومات الطحالب العسوية *Bacillariophyceae* وكذلك الطحالب الخضراء المصفرة الذهبية *Xanthophyceae* .

وتسود الطحالب الخضراء والدياتومات على باقى انواع الطحالب الأخرى بل اراضى المناطق المعتدلة بينما تسود الطحالب الخضراء المزرقه فى اراضى المناطق الحارة . كما تسود الطحالب الخضراء مثل الكلاميدوموناس *Chlamydomonas* والكوريللا *Chlorella* فى الاراضى الحمضية حيث يمكنها تحمل درجة عالية من الحموضة تصل حتى pH ٣,٧ . بينما فى الاراضى القلوية فتسود الطحالب الخضراء المزرقه حيث وجد أن بعض الأنواع التابعة لجنس *Anabaena* وكذلك جنس *Nostoc* تتواجد فى الاراضى الجيرية ، وتقل هذه الأنواع فى الاراضى الحمضية لدرجة أنها تختفى من الاراضى ذات الحموضة الأقل من pH ٥,٠ .

البروتوزوا Protozoa

هى كائنات حيوانية وحيدة الخلية تقسم حسب طبيعة حركتها إلى أربعة أقسام منها ما يتحرك بالأسواط (السوطيات Flagellates) ومنها ما يتحرك بالأقدام الكاذبة (الأميبا Amoeba) كما أن منها ما يتحرك بالأهداب (سليباتا Ciliates) ومنها عديم الحركة . ويتبع الأقسام الثلاثة الأولى أنواعا تعيش فى التربة بعكس الأنواع الغير متحركة والتابعة للقسم الأخير . ولقد وجد أن البروتوزوا تتواجد فى التربة بأعداد قليلة حيث تكثر فى الطبقة العليا

من التربة وتقل أعدادها مع العمق كما تتوقف أعدادها على ظروف التربة خاصة محتواها من المادة العضوية والرطوبة والتهوية . وعموماً فإن أعدادها تتراوح ما بين ١٠-٣٠٠ ألف / جرام تربة ، ولقد لوحظ أن التسميد المعدني والعضوي يزيد من أعداد البروتوزوا في التربة . والبروتوزوا تعيش في التربة إما مترمة على المواد العضوية الميتة أو تلتهم الميكروبات الأخرى والأصغر حجماً وأكثرها من البكتيريا . ولقد لوحظ أنه إذا أضيفت بعض البروتوزوا إلى التربة فإن أعداد البكتيريا تتناقص كما أن هذا التناقص يكون في حالة إضافة السوطيات أعلى منه في حالة إضافة الأميبا .

ثالثاً : التحولات الميكروبية للعناصر

دورة الكربون Carbon cycle

يعتبر الكربون العنصر الأساسي الذي يدخل في بناء جميع الخلايا الحية ، ولقد وجد أن أنسجة النباتات والحيوانات وكذلك الكائنات الحية الدقيقة تحتوي على كربون بنسبة تصل ما بين ٤٠-٥٠% من الوزن الجاف . ويعتبر مصدر الكربون في الكون هو غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء الجوي بنسبة تصل إلى ٠,٠٣% . ويتحول CO_2 إلى الصورة العضوية عن طريق نشاط الكائنات الحية ذاتية التغذية الضوئية Photoautotrophes مثل النباتات الخضراء الراقية والطحالب بأنواعها وكذلك البكتيريا الضوئية والسيانوبكتيريا Cyanobacteria وذلك من خلال عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis حيث تقوم هذه الكائنات باختزال CO_2 وتثبيت الكربون داخل أجسامها في صورة مركبات عضوية . ولقد قدرت كمية CO_2 التي تستهلك بواسطة الغطاء الخضري للقشرة الأرضية خلال عملية التمثيل الضوئي بحوالي ٩٠ بليون كيلو جرام في السنة وهذه الكمية تعادل تقريباً ٧٠% من CO_2 الجوي الحر . ويصاحب عملية التمثيل الضوئي التي تقوم بها

النباتات الخضراء إنطلاق الأكسجين حيث تستخدم الماء كمصدر للأيدروجين في إختزال CO_2 . ومن ناحية أخرى فإن الكربون العضوى المثبت داخل أجسام الكائنات الحية الممثلة للضوء أو المثبت في أنسجة الحيوانات التى تتغذى على بعض هذه الكائنات فى صورة أنسجة حية يكون فى صورة غير قابلة لإفادة النباتات Immobilized إلا بعد أن يعود إلى صورته الأولى . ولا يتم ذلك إلا بعد موت هذه الكائنات وتحول أنسجتها الحية إلى مادة عضوية وعندما تصل هذه المواد العضوية إلى التربة أو تضاف إليها فإنها تتعرض مباشرة للنشاط البيولوجى . حيث تقوم الميكروبات غير ذاتية التغذية Heterotophes الموجودة فى التربة بتحويلها للحصول على الطاقة أو لتمثيل مكوناتها لبناء أنسجة ميكروبية جديدة ويصاحب ذلك إطلاق كمية كبيرة من ثانى أكسيد الكربون . وتسمى هذه العملية بالمعدنة Mineralization وهى تلك العملية التى يتحول فيها الكربون العضوى إلى ثانى أكسيد الكربون بيولوجياً . وعملية إختزال ثانى أكسيد الكربون وتحوله إلى الصورة العضوية من خلال عملية التمثيل الضوئى وتثبيتته فى صورة أنسجة حية داخل أجسام الكائنات Immobilization ثم إنطلاقه مرة أخرى من خلال عملية المعدنة Mineralization يطلق عليها ما يسمى بدورة الكربون Carbon cycle وهى التى تدور حول تحولات الكربون بين الصورتين العضوية والمعدنية من خلال عمليتي الإختزال والمعدنة لعنصر الكربون فى الطبيعة .

إختزال ثانى أكسيد الكربون

يعتبر الأكسجين المنطلق من عملية التمثيل الضوئى القوة الدافعة الأولى فى دورة العناصر الهامة بيولوجياً فى الطبيعة حيث أن خلال عملية التمثيل الضوئى يتحول الكربون المؤكسد CO_2 إلى الصورة المختزلة فى صورة مركبات عضوية داخل أنسجة النبات ويصحب ذلك إنطلاق الأكسجين.

والكربون المؤكسد الميسر لعملية التمثيل الضوئي هو ثاني أكسيد الكربون الجوى أساساً والذي لا تتعدى نسبته ٠.٠٣% من حجم الهواء . وهذا المستوى يكون ثابتاً تقريباً من خلال التوازن الديناميكي بين عمليتي التمثيل الضوئي Photosynthesis ومعدنة المواد العضوية Mineralization. ويمكن التحقق من أهمية دور الكربون فى الطبيعة بالنظر فى كمية CO_2 الموجودة بالجو .

المعدنة Mineralization

تصل المادة العضوية إلى التربة من مصادر عديدة أهمها البقايا النباتية مثل أوراق النباتات المتساقطة وقلف الأشجار وكذلك الجذور وفرزاتها . كما يتبقى بالتربة نسبة كبيرة من البقايا النباتية بعد حصاد المحاصيل خاصة الجذور. ومن ناحية أخرى تضاف المواد العضوية النباتية فى صورة أسمدة سواء من مصادر نباتية أو حيوانية . ولقد وجد اختلاف التركيب الكيماوى للبقايا النباتية اختلافاً كبيراً من نبات لآخر . وعلى العموم فإن البقايا النباتية التى تصل إلى التربة تحتوى على مركبات عضوية رئيسية تشمل السليولوز والهيميسليولوز واللجنين والبروتين والأحماض النووية والرماد والليبيدات والزيوت والشموع بنسب مختلفة . هذا بالإضافة إلى بعض المواد القابلة للذوبان فى الماء والتى تتضمن أحماضاً أمينية وعضوية وسكريات بسيطة وغيرها والتى نقل نسبتها مع تقدم النبات فى العمر كما ترتفع نسبة المواد المعقدة . وعندما تصل هذه المواد العضوية إلى التربة فإنها تتعرض مباشرة للنشاط البيولوجى حيث تقوم الميكروبات غير ذاتية التغذية الهيتروتروفية بتحويلها للحصول على الطاقة لـ لتمثيل مكوناتها لبناء أنسجة ميكروبية جديدة ويصاحب ذلك إطلاق كمية كبيرة من CO_2 ويسمى ذلك بعملية المعدنة والتى تقترن بإختزال الأكسجين الجزيئى . ويقوم بعملية المعدنة الكثير من الأجناس والأنواع الميكروبية غير ذاتية التغذية وغالباً ما تتم هذه العملية على مرحلتين. المرحلة الأولى هى أحداث تفكك لجزيئات المركبات العضوية المعقدة وتحويلها إلى مركبات بسيطة وهى

لوحداث البنائية لها ، ويتم هذه الخطوة عن طريق إنزيم ات التحلل المائي المفترزة ميكروبيا . أما المرحلة الثانية فهي أكسدة هذه الوحداث البنائية باستخدام الأكسجين الحر وتكون النتيجة هي أكسدة الكربون العضوى وخروجه فى صورة CO_2 . أما الأكسجين فيختزل ويظهر فى صورة ماء ، والمرحلة الأولى يقوم بها العديد من الميكروبات أما المرحلة الثانية فتحتاج غالبا إلى نوع من التخصص . وفى الظروف الهوائية فإن كثيرا من الفطريات والبكتيريا الهوائية والأكتينوميسيتات تقوم بأكسدة كاملة للمواد العضوية ويكون CO_2 هو الناتج النهائى . ولو أن هذه الميكروبات تلجا دائما لبناء خلايا جديدة عن طريق تمثيل جزء ليس بالقليل من الكربون وعناصر المادة العضوية المتحللة . وبذلك تتم عمليتى المعنة Mineralization وهى تحلل المادة العضوية وأكسبتها للحصول على الطاقة وعملية التمثيل Immobilization وهى بناء خلايا ميكروبية جنباً إلى جنب والمحصلة النهائية هى الأكسدة الكاملة للمادة العضوية . أما تحت الظروف اللاهوائية فإن المركبات العضوية تتحلل جزئياً منتجة مركبات بسيطة من بينها CO_2 وبعض الأحماض العضوية .

تكوين الدبال Humus

بعض البقايا العضوية سواء نباتية كانت أو حيوانية لو ميكروبية الأصل تقاوم التحلل وترسب فى نهاية مراحل التحلل لتكون ما يسمى بالدبال Humus . وهو مادة ذات تركيب معقد أكثر ثباتاً فى تحللها وهى ذات لون غامق وذات طبيعة غروية وغير محددة التركيب الكيماوى . وهو يعتبر مرحلة ثبات بيولوجى ولذلك تتوقف عملية التحلل على عدة عوامل طبيعية وكيميائية مثل الحرارة والرطوبة والـ pH ووفرة الأكسجين . وبغض النظر عن كمية المادة العضوية التى تضاف للتربة سنوياً فقد بينت الدراسات أن نسبة الدبال ثابتة إلى حد كبير فى التربة الزراعية بمعنى أن النقص الناتج من تحلل

للدبال في أى تربة يعادل معدل التكوين السنوى له . ولقد وجد أن الدبال هام جداً لخصوبة التربة حيث أنه يعتبر المخزن الذى تستمد منه الميكروبات غذائها سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة . ونتيجة للتحلل يحدث معدنة لما به من عناصر غذائية ضرورية للنبات ، كما يلعب الدبال دوراً أساسياً فى تحسين بناء التربة المفككة عن طريق تكوين الحبيبات وكذلك تحسين التهوية فى الأراضى الثقيلة . كما يساعد على زيادة احتفاظ الأراضى الخفيفة بالماء بالإضافة إلى أن المواد العضوية الدبالية لها قدرة عالية على ربط وتبادل الأنيونات والكاتيونات مما يجعلها مصدراً هاماً لكثير من العناصر المعدنية اللازمة للكائنات الحية .

دورة النيتروجين Nitrogen cycle

يعتبر النيتروجين من العناصر السمادية الأساسية فى تغذية النبات بجانب بعض العناصر الأخرى مثل الفوسفور والبوتاسيوم بل يعتبر أهمها على الإطلاق حيث يعتبر المكون الأساسى لجزئ البروتين . وهذا العنصر يكون عرضه لكثير من التغيرات البيولوجية فى التربة كما أنه يتعرض للفقد بالتطاير والغسيل بالماء وبالتالي يجب ملاحظة مستواه فى التربة دائماً للحفاظ على خصوبتها . حيث أن انخفاض مستواه فى التربة عن الحد اللازم للنباتات يؤثر تأثيراً سلبياً على غلة المحصول . وعلى الرغم من أن الهواء الجوى يحتوى على نسبة كبيرة جداً من النيتروجين تصل إلى أكثر من ٧٩% من حجمه إلا أن هذا العنصر الغازى يعتبر خاملاً كيميائياً Inert gas ولا يصلح كمصدر غذائى بالنسبة لمعظم الأحياء سواء نباتية كانت أو حيوانية أو حتى الكائنات الحية الدقيقة . حيث تحتاج إليه هذه الأحياء فى صورة نيتروجين متحد مثل الأمونيا أو النترات أو النيتروجين العضوى بإستثناء مجموعة قليلة من الكائنات الحية الدقيقة يمثلها بعض البكتيريا وبعض الطحالب الخضراء

المزرقة Blue green algae يمكنها إستخدام النيتروجين الغازى عن طريق تثبيتته داخل أجسامها فى صورة عضوية Immobilization . ويضاف للنيتروجين إلى التربة فى صورتين إحداهما عضوية والأخرى غير عضوية فى صورة مركبات معدنية . وتشمل الصورة العضوية البقايا النباتية والأسمدة الخضراء والسماذ العضوى الصناعى Compost بالإضافة إلى البقايا الحيوانية مثل السماذ البلدى الذى يحتوى بول وروث الحيوانات وكذلك مخلفات السلخانات وسماذ المجارى وغيرها . أما الصورة غير العضوية فتضاف إلى التربة فى صورة أسمدة نوسادرية أو نيتراتية أو سيناميد وغيرها . تتعرض مركبات النيتروجين للعديد من التغيرات الحيوية التى تؤثر على مدى قابليتها لاستفادة النبات ، ويمكن حصر هذه التغيرات فى الآتى :

معنة النيتروجين العضوى Organic nitrogen mineralization

تبدأ مهاجمة الكائنات الحية الدقيقة للمركبات العضوية النيتروجينية ويتم تحليلها بواسطة هذه الكائنات ويكون الناتج النهائى لعملية التحلل هو الأمونيا . ولهذا فإن هذه العملية يطلق عليها اسم النشطرة Ammonification ولو أن جزء من الأمونيا المتكونة يمثل داخل أجسام الميكروبات القائمة بعملية التحليل بقصد بناء خلايا جديدة والتى تسمى بعملية التمثيل Immobilization إلا أن الجزء الأكبر من النيتروجين ينطلق حراً على صورة نوسادر وحتى الخلايا الميكروبية التى تكونت ينطلق محتواها من النيتروجين بعد موتها .

وأول خطوة فى عملية النشطرة هى تحليل البروتينات والأحماض النووية والسكريات الأمينية مائياً بواسطة إنزيمات التحلل المائى والتى تفرزها الميكروبات وهذه الإنزيمات تقوم بتكسير السلسلة الببتيدية المكونة لجزئى البروتين وتتكون الأحماض الأمينية طبقاً للمعادلة الآتية :

بروتين - بروتوز - بيتون - عديدات الببتيد - ثنائى الببتيد - أحماض أمينية

ثم تحلل هذه الأحماض الأمينية المتكونة تحت ظروف هوائية أو لاهوائية ويكون الناتج في النهاية هو النيتروجين النشادرى . وتحت الظروف اللاهوائية فإن تحلل البروتينات لا ينتج عنه دائما النوشادر أولا بل ينتج عنه بدلا منها الأمينات التى تتأكسد تحت الظروف الهوائية وينطلق عنها الأمونيا . ويطلق على عملية تحلل البروتينات تحت الظروف اللاهوائية التعتفن Putrefaction وتتم هذه العملية بواسطة بكتيريا غير هوائية مكونة للجراثيم تابعة لأفراد جنس *Clostridium* . والميكروبات التى تقوم بعملية النشدرية تتواجد بأعداد كبيرة فى التربة وهى أيضا ميكروبات متنوعة منها الهوائية العصوية المتجرثمة وغير المتجرثمة والكروية وكذلك بعض الأكتينومييسيتات والكثير من الفطريات . كما أن منها بعض الأنواع غير الهوائية المحللة للبروتين والتابعة للجنس كلوستريديم *Clostridium*

التأزت Nitrification

التأزت أو النترة هى عملية تحويل الأمونيا الناتجة من تحليل المركبات العضوية النيتروجينية بفعل عملية النشدرية أو المضافة للتربة فى صورة أسمدة معدنية نوشادرية بالأكسدة الميكروبية إلى نيتريت Nitrite ثم نترات Nitrate . وهذه العملية تتم على حطوتين تقوم بهما مجموعتين متخصصتين من البكتيريا حيث تتم الخطوة الأولى بأكسدة الأمونيا إلى نيتريت ويطلق على هذه الخطوة اسم Nitrosification وذلك طبقا للمعادلة الآتية

$$2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Energy}$$

الثانية فيتم فيها أكسدة النيتريت إلى نترات طبقا للمعادلة التالية

$$2\text{HNO}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{Energy}$$

ويقوم بعملية التأزت أو النترة مجموعة من أجناس البكتيريا تختلف فيما بينها اختلافا واسعا فى شكلها المورفولوجى ومنها العصوى والكروى

والحلزوني ومنها غير المتحرك أو المتحرك بسوط واحد أو عدة أسواط ولكنها جميعاً تشترك في كونها سالبة لجرام غير متجترمة ذاتية التغذية هوائية وتحصل على طاقتها من أكسدة الأمونيا أو النيتريت .

وهذه الأجناس تنقسم إلى مجموعتين حسب طبيعة عملها الأولى أفرادها تؤكسد الأمونيا إلى نيتريت وتضم خمسة أجناس هي : *Nitrosomonas* ; *Nitrosococcus* ; *Nitrosovibrio* ; *Nitrosolobus* ; *Nitrospira* . أما المجموعة الثانية التي أفرادها تؤكسد النيتريت إلى نترات تضم ثلاثة أجناس هي : *Nitrospira* ; *Nitrococcus* ; *Nitrobacter* . ولقد وجد أن أكثر الأجناس الثمانية السابقة شيوعاً بالأراضي هما جنسى *Nitrobacter* . *Nitrosomonas*

إختزال النترات وإنطلاق الأزوت Nitrate reduction and denitrification
تنشط مجموعة كبيرة من البكتيريا في التربة الغنية بالمادة العضوية وتقوم بتحليلها وتستهلك في نشاطها كمية كبيرة من الأكسجين مما يؤدي إلى سيادة الظروف اللاهوائية نتيجة لتنفس هذه البكتيريا . وتحت هذه الظروف يبدأ نشاط مجموعة أخرى من البكتيريا هي البكتيريا اللاهوائية في إختزال النترات الموجودة بالتربة وهذا يحدث عن طريق إختزال النترات Nitrate reduction $\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NH}_4^+$ ويلاحظ أن هذه العملية عكس عملية التآزت تماماً . والعملية الحيوية الثانية هي إنطلاق الأزوت العنصرى Denitrification $\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{N}_2$ وفي هذه الحالة تختزل النترات إلى نيتروجين عنصرى حيث يصبح هو الناتج النهائى وعليه فإن سيادة عملية إنطلاق الأزوت العنصرى تكون مصحوبة بفقدان مركبات النيتروجين المعدنية وظهور النيتروجين الغازى بدلاً منها . وتقوم بهذه العملية مجموعة من البكتيريا غير المتخصصة حيث يستطيع الكثير منها

تحت الظروف العادية تحليل وإحداث عملية النضرة وغيرها من العمليات الحيوية في التربة . وتحت الظروف اللاهوائية تقوم تلك المجموعات البكتيرية غير المتخصصة بعمليات اختزال النترات وهي بالتالى تعتبر ميكروبات اختيارية فى إحتياجاتها الهوائية . ولقد لوحظ أن خاصية اختزال النترات لم تشاهد بين أنواع الفطريات والأكثينوميستات .

تثبيت النيتروجين Nitrogen fixation

رغم أن النيتروجين الغازى الذى يمثل النسبة الكبرى من حجم الهواء الجوى لو تلك الذى ينطلق نتيجة اختزال النترات يعتبر غير مناسب لمعظم الأحياء كغذاء إلا أنه يستعمل بواسطة أفراد قليلة من الميكروبات كمصدر غذائى للنيتروجين . ويطلق على هذه الميكروبات اسم الميكروبات المثبتة للنيتروجين الجوى وعن طريق نشاط هذه المجموعة الميكروبية المتخصصة يمكن تعويض النقص فى نسبة النيتروجين سواء تلك التى دخلت فى بناء أنسجة جديدة أو تلك التى تفقد بواسطة عملية إطلاق الأزوت . وفى الحقيقة فإن البكتيريا المثبتة للنيتروجين الجوى تنقسم إلى مجموعتين رئيسيتين هما :

البكتيريا التكافلية Symbiotic bacteria

وهى البكتيريا التى تقوم بتثبيت النيتروجين الجوى بطريقة تكافلية والتى تتميز بوجود نظام تبادل للمنفعة بين أنواع معينة من النباتات البقولية بتخصصية عالية وأفراد تلك المجموعة والتى تقع ضمن سبعة أنواع تكون تابعة لجنس *Rhizobium* . وهذا النوع من التكافل أو تبادل المنفعة يتم داخل تركيب خاصة تسمى بالعقد الجذرية Root nodules تكونها هذه البكتيريا على جذور نباتات العائلة البقولية ولذلك تسمى هذه البكتيريا ببكتيريا العقد الجذرية Root nodules bacteria . وتسمى مجموعة النباتات البقولية التى يغزوها نوع واحد من البكتيريا العقدية باسم المجموعة تبادلية التلقيح Cross

inoculation group . فهناك مجموعة البسلة التي تضم الفول العادى والعس والنوع المكون للعقد البكتيرية على هذه المجموعة هو *Rhizobium leguminosarum* وبالمثل هناك مجموعة البرسيم الحجازى ويغزوها ميكروب *R. meliloti* ومجموعة الفاصوليا ويغزوها ميكروب *R. phaseoli* ومجموعة فول الصويا ويغزوها ميكروب *Bradyrhizobium japonicum* ومجموعة الترمس ويغزوها ميكروب *R. lupine* وأخيراً مجموعة اللوبيا ويغزوها ميكروب *Bradyrhizobium* sp. ومن ناحية أخرى يوجد جنس يتبع الأكتينومييسيتات وهو جنس *Frankia* وجميع أفرادها لها القدرة على تثبيت النيتروجين الجوى بطريقة تكافلية فى عقد ولكن على جنور نباتات غير بقولية كما فى اشجار الكازورينا . كما يوجد أيضاً نوع من التكافل بين الطحالب الخضراء المزرقة الميانوبكتيريا *Cyanobacteria* وبعض النباتات معراة البنور كما فى السيكاس .

البكتيريا التكافلية Non-symbiotic bacteria

وهى البكتيريا التى لها القدرة على تثبيت النيتروجين الجوى بطريقة حرة فى التربة الزراعية ويمثل هذه المجموعة عدد كبير من الميكروبات يمكن نكرها فى الآتى :

بكتيريا غير ذاتية التغذية Heterotrophic bacteria

منها البكتيريا الهوائية ويمثلها مجموعة الأجناس التابعة لعائلة *Azotobacteriaceae* وأهمها جنس *Azotobacter* ويتبعه النوع *A. chroococcum* وهو النوع الذى يكثر إنتشاره فى معظم الأراضى . ومنها أيضاً البكتيريا ذات الإحتياجات القليلة من الأكسجين والتي يمثلها مجموعة الأجناس التابعة لعائلة *Spirillaceae* وأهمها جنس *Azospitillum* وهذا الجنس يثبت النيتروجين فى الحالة الحرة أو بالتعاون مع جنور بعض النباتات النجيلية حيث وجدت أفرادها على سطوح الجنور أو فى الصفيحة الوسطى لخلايا الجنور

ولذلك يطلق عليه تعبير مثبت للنيتروجين شبه تكافلي Semi-symbiotic N- fixer . كما أن منها البكتيريا الإختيارية ويمثلها بعض أفراد الجنس *Bacillus* وكذلك الأجناس التابعة لعائلة *Enterobacteriaceae* ويتبعها أيضاً بعض البكتيريا غير الهوائية مثل بعض الأنواع التابعة للجنس *Clostridium* .

بكتيريا ذاتية التغذية Autotrophic bacteria

وتشمل البكتيريا ذاتية التغذية وهى *Cyanobacteria* أو الطحالب الخضراء المزرقة *Blue green algae* مثل أجناس *Anabaena* ; *Nostoc* ; *Tolypothrix* ; *Galothrix* ; *Aulosira* ; *Anabaenopsis* . كذلك البكتيريا الممثلة للضوء ويمثلها أجناس *Rhodomicrobium* ; *Rhodopseudomonas* *Chromatium* ; *Rhodospirillum* ; *Chlorobium*

وكل البكتيريا السابقة تثبت للنيتروجين الجوى داخل أجسامها على صورة مركبات نيتروجينية عضوية مثل الأحماض الأمينية . ويمكن القول عموماً أن تثبيت النيتروجين بالطريقة للتكافلية يكون أكثر فعالية تحت ظروف خاصة عن التثبيت بالطريقة الحرة . ومما سبق يتضح الدور الهام للكائنات الحية الدقيقة فى تحولات المركبات النيتروجينية بما تشمله من معدنة للمواد النيتروجينية العضوية أو تثبيت للنيتروجين العنصرى . كما يتضح أهمية هذه التحولات بالنسبة لتواجد هذا العنصر فى التربة وبالصورة الملائمة للنبات .

دورة الفوسفور Phosphorous cycle

عنصر الفوسفور من العناصر السماوية الأساسية الهامة للنبات وهو يلى عنصر النيتروجين فى الأهمية ، ورغم احتواء التربة على كميات كافية منه إلا أنه فى الكثير من الأحيان تظهر أعراض نقص الفوسفور على النباتات المزروعة . ويرجع ذلك إلى النقص فى الفوسفور القابل للاستفادة

بواسطة النباتات حيث أنه بمجرد إضافته للتربة فإنه يثبت حول الجزيئات ويصبح في صورة غير ميسرة للنبات .

يوجد الفوسفور في التربة الزراعية في الصورتين المعدنية والعضوية، وبالنسبة للفوسفور المعدني فإنه يوجد عادة في صورة فوسفات الكالسيوم أو الحديد أو الألومنيوم وهذه الصورة لا يستفيد منها النبات كثيراً وقد يوجد الفوسفور في التربة الزراعية في صورة فلورابتيت وتعتبر هذه الصورة أقل صور الفوسفور إفادة للنبات . وعادة ما يضاف الفوسفور المعدني للتربة في صورة سوبر فوسفات الكالسيوم وهي قابلة للإستفادة بواسطة النباتات ولكن بمجرد وصولها إلى التربة يحدث تحولات تتوقف على درجة pH التربة . ففي حالة التربة القاعدية تتحول فوسفات الكالسيوم الأحادية الذائبة إلى الصورة الثلاثية غير الذائبة أما في الأراضي الحامضية فإن الفوسفات الذائبة تترسب في صورة فوسفات حديد أو المونيوم وهاتين الصورتين أكثر مقاومة للإذابة من فوسفات الكالسيوم الثلاثية . وعموماً فإن هذه التحولات تسبب ظهور أعراض نقص الفوسفور على النباتات مما يستدعي معه إضافة المزيد من الأسمدة الفوسفاتية إلى التربة باستمرار . أما بالنسبة للفوسفور العضوي في التربة فإن مصدره الرئيسي في التربة هو لبقايا النباتية المتحللة بالإضافة إلى أجسام الميكروبات الميتة من بكتيريا وفطريات وغيرها . بمجرد وصول الفوسفور إلى التربة من المصادر المختلفة سواء في الصورة العضوية أو المعدنية يبدأ نشاط الكائنات الحية الدقيقة المتواجدة في التربة في إحداث تحولات هامة لهذا العنصر يمكن تلخيصها في الآتي :

إذابة الفوسفات Solubilization of phosphates

تحتوي التربة على أعداد كبيرة من الميكروبات المتنوعة والقادرة على إذابة الفوسفات المعدنية غير الذائبة سواء كانت في صورة فوسفات ثلاثي الكالسيوم أو في صورة فوسفات حديد والمونيوم وتحويلها إلى الصورة

للميسرة للنبات . ولقد تم تفسير الميكانيكية التي تتمكن بها هذه الميكروبات من إذابة فوسفات ثلاثي الكالسيوم على أساس مقدرتها على إنتاج الأحماض العضوية وثاني أكسيد الكربون من خلال نشاطها التمثيلي مما يؤدي إلى انخفاض درجة pH للتربة مما يساعد على إذابة الفوسفات غير الذائبة . ومن بين الأحماض العضوية التي تنتجها هذه الميكروبات حمض الفورميك والخليك والبروبيونيك والسكسينيك واللاكتيك والستريك ، وكذلك حمض ٢-كيتوجلوكونيك والذي يعمل على سرعة إذابة الفوسفات وذلك لقدرتها على تكوين مركبات مذبذبة مع الكالسيوم والحديد مما يساعد على إذابة الفوسفات. كما لوحظ أن ميكانيكية الإذابة الميكروبية للفوسفات تحت الظروف اللاهوائية تكون أكثر فعالية حيث أن تحلل المادة العضوية تحت هذه الظروف يخلق قوة اختزالية تؤدي إلى اختزال الحديد غير الذائب إلى الحديدوز الذائب مما يؤدي إلى تحرر الفوسفور في صورة صالحة للنبات . كما أن الأكسدة غير الكاملة للمادة العضوية الكربوهيدراتية ينتج عنها نسبة كبيرة من الأحماض العضوية والتي تساعد على الإذابة . هذا بالإضافة إلى كبريتيد الهيدروجين H_2S المتكون تحت هذه الظروف نتيجة لنشاط الميكروبات اللاهوائية والذي يتحد مع الحديد ويرسبه بينما يتحرر الفوسفور من فوسفات الحديد ويصبح في صورة صالحة لاستخدام النباتات . ولهذا فإن صلاحية الفوسفات للنبات تكون أكثر وضوحاً في الأراضي المزروعة أرز تحت ظروف الغمر وبالتالي فإن هذه النباتات تحت مثل هذه الظروف لا تحتاج إلى التسميد الفوسفاتي بنفس معدل تحت الظروف الهوائية .

معنة الفوسفور العضوي Mineralization of organic phosphorous

يوجد الفوسفور في البقايا النباتية وكذلك في أجسام الميكروبات الموجودة في التربة في صورة العديد من المركبات العضوية مثل الأحماض النووية والفيتين والفوسفوليبيدات واليسيثين وكذلك السكريات المفسفرة

والمرافقات الإنزيمية وفوسفات الأليينوزين . وبمجرد وصول هذه المركبات إلى التربة يبدأ نشاط الكائنات الحية الدقيقة في تحليلها عن طريق إفرازها لإنزيمات التحلل المائي المتخصصة والتي يطلق عليها في مجموعها اسم إنزيمات الفوسفاتيز Phosphatases . وينتج عن ذلك تحرر الفوسفور في الصورة المعدنية الصالحة لإستخدام النبات . ولقد وجد أن الفوسفور يوجد في المركبات العضوية في الصورة المؤكسدة PO_4 ولذا فإنه عند تحرره من المركبات العضوية يتحرر في صورة فوسفات مباشرة دون الحاجة للأكسدة. ولقد وجد أن الأحماض النووية تعتبر أسرع المواد الفوسفاتية العضوية تحللاً في التربة نظراً لإحتوائها على كل من الكربون والنيتروجين والفوسفور بنسب كافية لإحتياجات كثير من الميكروبات المحللة لها مما يشجع نمو هذه الميكروبات .

التمثيل الميكروبي للفوسفور Microbial metabolism of phosphorous

تحتاج الميكروبات للفوسفور في بناء أجسامها ولذلك فهي تلجأ إلى الفوسفات المعدنية الذائبة في التربة وتحويلها إلى فوسفات عضوية في أجسامها من خلال عملية تمثيل Immobilization لهذه الفوسفات . ولقد وجد أن كميات الفوسفات المذابة في التربة تكون كافية لنشاط الأحياء الدقيقة في الظروف العادية ولكن عند إضافة مادة عضوية فقيرة في الفوسفور إلى التربة فإن الميكروبات تتنافس النباتات على الفوسفور الميسر في التربة حيث أن عند تحليلها لهذه المادة فإنها لا تجد فيها ما يكفيها من الفوسفور لبناء أجسامها ولذلك فإن هذه الميكروبات تلجأ إلى الفوسفور المعدني الذائب في التربة لتكمل إحتياجاتها مما يقلل من الفوسفور الصالح لإستخدام النبات وقد يتأثر المحصول من ذلك إلى حد كبير . ولذلك عند إضافة مادة عضوية فقيرة في الفوسفور إلى التربة فإنه يجب إضافة سماد فوسفاتي معدني لتعويض الفقد الحادث في التربة نتيجة لنشاط الميكروبات في تحليل هذه المادة العضوية أو أن تضاف هذه المادة في التربة الفقيرة في محتواها الفوسفوري إلى التربة قبل الزراعة بفترة

كافية حتى يتم تحلل هذه المادة بسرعة وتضييق نسبة الكربون إلى الفوسفور فيها . لما إذا كانت المادة العضوية المضافة للتربة غنية في محتواها من الفوسفور فإن الميكروبات عند تحليلها لهذه المادة فإنها تأخذ ما يكفيها لبناء خلايا جديدة والمتبقى يتحرر في التربة في صورة فوسفور معدني ذات صالحي لإستخدام النباتات مما يزيد من خصوبة التربة .

تفاعلات الأكسدة والإختزال Oxidation reduction

قد يحدث لمركبات الفوسفور الموجودة في التربة تفاعلات أكسدة وإختزال محدودة وتقل في أهميتها كثيرا عن التفاعلات التي تحدث لمركبات النيتروجين والسبب في ذلك أن الفوسفور يوجد في المركبات العضوية في الصورة المؤكسدة حيث يرتبط بالمركب العضوي في صورة H_3PO_4 وعندما يتحرر من المادة العضوية فإنه يتحرر في صورة حمض لارثروفوسفوريك H_3PO_4 الجاهزة للإستخدام المباشر بواسطة النبات .

المراجع

المراجع الأجنبية

- Abu-Ruwaida, A.S.; I.M. Banat; S. Haditirto and A. Khamis (1991).** Nutritional requirements and growth characteristics of a biosurfactant producing *Rhodococcus* bacterium. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 7: 53-61.
- Alexander, M. (1977).** Introduction to Soil Microbiology . The 2nd ed., John Wiley & Sons , Newyork.
- Atlas, R.M. and R. Bartha (1992).** Hydrocarbon biodegradation and oilspill bioremediation. *Adv. Microb. Ecol.*, 12: 287-338.
- Ayers, J.C.; J.O. Mundt and W.E. Sandine (1980).** Microbiology of Foods. Freeman Co., San Francisco, USA.
- Banat, I.M. (1995).** Biosurfactants production and possible uses in microbial enhanced oil recovery and oil pollution remediation : a review. *Biosource Technol.*, 51: 1-12.
- Boopathy, R. (2000).** Bioremediation of explosives contaminated soil. *International Biodeterioration and biodegradation* 46: 29-36.
- Collins, C.H. and Lyne, P.M. (1985).** Microbiological Methods. The 5th ed., Butter Worth & Co. Pub., Ltd., London.
- Dang, J.L.; Heroux, K.; Kearney, J.; Arasteh, A.; Gostomski, M. and Emanuel, P.A. (2001).** Bacillus spore inactivation methods affect detection assays. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67(8): 3665-3670.
- FAO/WHO (1984).** The role of Food Safety in Health and Development. World Health Organization, Geneva.
- Frazier, W.C. and D.C. Weathoff (1978).** Food Microbiology. The 3rd ed., McGraw Hill Co., New York.
- Friedlander, A.M. (2000).** Clinical features, pathogenesis and potential biological warfare threat. *Curr. Clin. Top. Infect. Dis.*, 20: 335-349.
- Grobbelaar, U.G.; Botesl, E.; van den Heever, J.A. and Oberholster J.P. (2004).** Scope and Dynamics of Toxins Produced by Cyanophytes in the Freshwaters of South Africa and the Implications for Human and Other Users. 5th Asia-

- Pacific Conference on Algal Biotechnology, Qindao, China, October.
- Halt, J.G.; N.R. Krieg; P.H.A. Sneath; J.T. Stanley and S.T. Williams (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. The 9th ed., Williams & Wilkins, Baltimore.
- Jones, G. and Sivonen, K. (1999). *Toxic cyanobacteria in Water : a guide to their public health consequences, monitoring and management*, Geneva, World Health Organization.
- Kankaanpaa, H.T.; Holliday, J.; Schroder, H.; Goddard, T.J.; Von Fister R. and Carmichael W.W. (2005). Cyanobacteria and prawn farming in northern New South Wales, Australia-a case study on cyanobacteria diversity and hepatotoxin bio-accumulation. *Toxicol Appl. Pharmacoi.* 203(3): 243-256.
- Kaplan, A. and L. Reinhold (1999). CO₂ concentrating mechanisms in photosynthetic microorganisms. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 539-70.
- Leifson, E. (1960). *Atlas of bacteria flagellation* . Academic press , Newyork.
- Levin, L.; Viale, A. and Forchiassin, A. (2003). Degradation of organic pollutants by the white-rot basidiomycete *Trametes trogii*. *International Biodeterioration and biodegradation* 52: 1-5.
- Linton, A.H. (1987). *Microbes, Man and Animals*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Lowrie, P. and S. Wells (1991). *Microorganisms, Biotechnology and Disease*. Cambridge University press.
- Madigan, M. and Martinko, J. (editors). (2005). *Brock Biology of Microorganisms*, 11th ed., Prentice Hall. ISBN 0-13-144329-1.
- Marth, E. H. (1978). *Standard Methods for Examination of Dairy Products* . The 14th ed., Am. Pub. Health Assoc., Washington, D. C. USA.
- Oh, Y.S.; Maeng, J. and Kim, S.J. (2000). Use of microorganism-immobilized polyurethane foams to absorb and degrade oil on water surface. *Applied Microbiology and Biotechnology* 54, 418-423.

- Ongena, M.; Duby, F.; Rossignol, F.; Fouconnier, M.L.; Dommès, J. and Thonart, P. (2004). Stimulation of the lipoxygenase pathway is associated with systemic resistance induced in bean by a nonpathogenic *Pseudomonas* strain. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 17: 1009-1018.
- Pal, K.K. and B. McSpadden Gardener (2006). Biological Control of Plant Pathogens The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-A-2006-1117-02.
- Pelezar, M.J.; E.C.S. Chan and N.R. Kerieg (1986). Microbiology. McGraw-Hill Co., New York.
- Pr Scott and Dunn's . (1981) . Industrial Microbiology . The 4th ed., Gerald Reed, CBS pub. & Distribute., India.
- Quek, E.; Tng, Y.P. and Tan, H.M. (2005). *Rhodococcus* sp. F92 immobilized on polyurethane foam shows ability to degrade various petroleum products. *Bioresource Technology* 97, 32-38.
- Ryu, C.M.; Farag, M.A.; Hu, C.H.; Reddy, M.S.; Kloepper, J.W.; and Pare, P.W. (2004). Bacterial volatiles induce systemic resistance in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 134: 1017-1026.
- Silliker, J. H. and Elliott, R. P. (1980). Microbial Ecology of Foods. Volume II . Food Commodities . Academic Press, Newyork.
- Singleton, P. (1997). Bacteria in Biology, Biotechnology and Medicine. The 4th ed., John Wiley & Sons, New York.
- Spoerke, D.G. and Hall, A.H. (1990). Plants and mushrooms of abuse. *Emerg. Med. Clin. North Amer.*, 8: 579-593.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1993). The 18th ed., APHA.
- Swannell, R.P.J.; Lee, K. and Mcdonagh, M., (1996). Field evaluations of marine oil spill bioremediation. *Microbiological Reviews* 60, 342-365.
- Tizard, I. J. and Chan, E. C. S. (1981). Immunology : an Introduction . Saunders College publishing , Newyork.
- Tortora, G.J.; B.R. Funke and C.L. Case (2001). Microbiology : An Introduction. The 7th ed., Addison Wesley Longman.

المراجع العربية

- لكسندر مارتن (١٩٨٢) . مقدمة فى ميكروبيولوجيا التربة . الطبعة الثانية .
جون ويللى نيويورك . مكتبة الأهرام - القاهرة .
- حمزة النخال (١٩٧٠) . علم الأحياء الدقيقة . الطبعة الأولى - دار المعارف
- القاهرة - الطبعة الأولى .
- سعد على زكى محمود - عبد الوهاب محمد عبد الحافظ ومحمد الصاوى
مبارك (١٩٨٠) . ميكروبيولوجيا الأراضى . مكتبة الأنجلو المصرية
- ش محمد فريد - القاهرة .
- عبد الوهاب محمد عبد الحافظ ومحمد الصاوى مبارك . (١٩٩٦) .
الميكروبيولوجيا التطبيقية - المكتبة الأكاديمية - القاهرة - الطبعة الأولى
عبد الرزاق عبد الرحمن أبو سعدة (١٩٩٩) . مملكة الفطريات . مطابع
مجموعة الفيروز - القاهرة .
- محمد على أحمد ومحمد عبد الرزاق (١٩٩٩) . فطريات الصناعة ، الدار
العربية للنشر والتوزيع - القاهرة .
- محمد محمد عمار (٢٠٠٣) . الفطريات . (الجزء الثانى) لفسيولوجى ،
التكاثر وعلاقتها بالبيئة والإنسان . الدار العربية للنشر والتوزيع -
القاهرة .
- مصطفى دبال أبو الذهب ومحمد عبد القادر الجعراوى (١٩٨٤) . البكتيريا .
دار المعارف - القاهرة - الطبعة الثانية .

رقم الإيداع

٢٠٠٧ / ٢٣٣٧٥

2007/23375

(٤٦٦)

الترقيم الدولى

٩٧٧ - ٦١٨٦ - ٥١ - ٣

I.S.B.N 977 - 6186 - 51 - 3

المؤلف في سطور

أ.د. حسين عبد الله محمد الفضالي

- من مواليد شبرا الخيمة محافظة القليوبية في ١٩٥٦/٦/١٥
- تزوج ورزق بولدين هما طه ، أسامة
- تلقى تعليمه قبل الجامعي بشبرا الخيمة - محافظة القليوبية
- حصل على بكالوريوس العلوم الزراعية (ميكروبيولوجي) دور يونية عام ١٩٧٨ بتقدير عام جيد جداً من كلية الزراعة جامعة عين شمس
- أدى الخدمة العسكرية عام ١٩٧٩
- عين معيداً بالتكليف بقسم النبات الزراعي بكلية الزراعة جامعة المنصورة في ١٩٧٩/٣/٥
- حصل على الماجستير في العلوم الزراعية (ميكروبيولوجي) عام ١٩٨٥ من كلية الزراعة - جامعة المنصورة وعين مدرس مساعد في ١٩٨٥/٥/١٣
- حصل على منحة الدكتوراه من الجامعة الفنية ببودابست جمهورية المجر عام ١٩٨٨
- عضو اللجنة التنفيذية للمؤتمر الـ ٣٣ IUPAC في الفترة من عام ١٩٩١ والذي نظّمته أكاديمية العلوم المجرية ببودابست - المجر
- قضى أسبوعين في مدينة هاتوفر بألمانيا كزيارة علمية في ديسمبر ١٩٩٢
- حصل على الدكتوراه في التخمرات الميكروبية عام ١٩٩٣ من قسم تكنولوجيا الكيمياء الزراعية - كلية الهندسة الكيميائية - الجامعة الفنية ببودابست - المجر
- عين مدرساً بقسم الميكروبيولوجيا - كلية الزراعة - جامعة المنصورة في ١٩٩٣/١١/٢٩
- عين أستاذاً مساعداً بقسم الميكروبيولوجيا - كلية الزراعة - جامعة المنصورة في ٢٩/١٢/١٩٩٨
- عين أستاذاً بقسم الميكروبيولوجيا - كلية الزراعة - جامعة المنصورة في ٢٠٠٤/١/٢٠
- أشرف على ٢٥ رسالة ماجستير ودكتوراه في مجالات الميكروبيولوجيا المختلفة
- شارك في العديد من المؤتمرات العلمية المحلية والعربية والدولية
- عين أستاذاً للميكروبيولوجيا الزراعية - كلية زراعة دمياط - جامعة المنصورة في ٣٠/٤/٢٠٠٧
- عين رئيساً لقسم الميكروبيولوجيا كلية الزراعة بدمياط - جامعة المنصورة في ١٤/٦/٢٠٠٧
- له ما يقرب من ٧٥ بحث منشور في مجالات الميكروبيولوجيا الزراعية المختلفة
- باحث رئيسي لمشروع تحسين إنتاجية القمح بأراضي شمال الدلتا باستخدام التسميد الحيوي في ٢٠٠٦
- شارك في مناقشة العديد من الرسائل العلمية بجامعة المنصورة وخارجها
- شارك كعضو في لجان تأهيلي الدكتوراه بجامعة المنصورة وخارجها
- عضو جمعية الميكروبيولوجيا التطبيقية منذ ١٩٧٩
- عضو نقابة المهن الزراعية منذ ١٩٧٩
- عضو مجلة العلوم الزراعية - جامعة المنصورة منذ ١٩٨٠

